ANATOMISCH-PHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DEN

FUNICULUS DER SAMEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

BEI DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

KÖNIGL. BAYR. FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT

ZU ERLANGEN

EINGEREICHT

VON

MAX DAHMEN

AUS KÖLN A./R.

BERLIN 1891.

GEBRÜDER BORNTRAEGER

(ED. EGGERS).

ANATOMISCH-PHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DEN

FUNICULUS DER SAMEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

BEI DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

KÖNIGL. BAYR. FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT

ZU ERLANGEN

EINGEREICHT

VON

MAX DAHMEN

AUS KÖLN A./R.

BERLIN 1891.

GEBRÜDER BORNTRAEGER

(ED. EGGERS).

(Separat-Abdruck aus Pringsheim's Jahrbüchern für wissenschaftliche Botanik Band XXIII, Heft 3.)

HERRN

DR. B. FRANK

PROFESSOR ORD. AN DER KÖNIGLICHEN LANDWIRTHSCHAFTLICHEN HOCHSCHULE ZU BERLIN

IN

DANKBARER VEREHRUNG

GEWIDMET

VOM

VERFASSER.

Es sei mir an dieser Stelle gestattet, Herrn Professor Frank, durch dessen Anregung die vorliegende Arbeit entstand, sowie meinen hochverehrten Lehrern den Herren Professoren Tschirch und Rees für das Interesse und die Theilnahme, welche sie meinen Arbeiten sshenkten, meinen besten Dank auszusprechen.

Der Funiculus verdient auf den ersten Blick in doppelter Hinsicht Beachtung, da einerseits sein Inhalt uns Aufschluss darüber giebt, als was die einzelnen Stoffe in den Samen hineintreten, indem er der dem Samen zunächst liegende Theil der Pflanze ist, und da andrerseits die äussere Form desselben eine so sehr verschiedene ist, dass der Gedanke nahe liegt, die verschiedenen Formen müssten auch noch verschiedenen anderen Zwecken entsprechen. Und in der That ist er auch nur dann besonders ausgebildet, wenn ihm noch eine besondere andere Aufgabe zufällt. Diese kann verschiedener Art sein.

Ich nehme als willkürliches Beispiel den Funiculus von Pisum sativum, der als solcher in der Frucht leicht erkannt werden kann. Bei ihm kommt auch ausser der Stoffleitung noch eine besondere Function, nämlich eine Einrichtung zur Abtrennung des Samens in Betracht.

I. Pisum sativum als allgemeines Beispiel.

A. Anatomie und Morphologie.

Es lassen sich in dem Funiculus von Pisum vier verschiedene Gewebe unterscheiden, die sich darstellen als die Epidermis, das Phloëm, das Xylem und das Schwammparenchym.

Die Epidermis zieht sich (vergl. Taf. XX, Fig. 1) um die übrigen Gewebe des eiförmigen Querschnitts. Der Fibrovasalstrang liegt an einem äussersten Ende direct an der Epidermis, während das Schwammparenchym den ganzen übrigen Theil des Funiculus ausfüllt. Zur Beschreibung des Laufes, den der Fibrovasalstrang im Funiculus nimmt, ist die Bemerkung nothwendig, dass Fig. 2 auf Taf. XX insofern eine ideale ist, als es wegen der Krümmung dieses Laufes unmöglich ist, in einem geraden Schnitte den ganzen Fibrovasalstrang zu spalten. Letzterer liegt an dem Ende, welches der Placenta zunächst liegt an der Epidermis nach der Mitte der Fruchtnath hin, während er durch die Wucherung des Schwammgewebes auf dem Wege nach dem Samen hin sich von der Epidermis soweit entfernt, dass er das Centrum berührt, dann aber an dem äussersten Ende, welches der Spitze der Frucht zugewandt ist, wieder an der Epidermis angelangt, aus dem Funiculus in den Samen tritt.

Taf. XX e zeigt die Lage des Fibrovasalstranges in drei schematischen Querschnitten an der Basis, Mitte und dem oberen Ende. Der Fibrovasalstrang macht also auf dem Wege von e1 bis e3, der Querschnitt als Kreis gedacht, eine Wendung von 45° und zwar geschieht dies abwechselnd nach rechts und nach links, so dass er am Samenende stets nach dem Fruchtstiele hin, am Placentaende aber nach der Mitte der Hülsennath liegt (vergl. Schema Taf. XX g).

Die Epidermis zeichnet sich durch starke kollenchymatische Verdickung der Zellmembran aus und lässt je nach dem Grade der Verdickung eine deutliche Schichtung wasserarmer und wasserreicher Cellulosepartien erkennen. Mit Chlorzinkjod werden alle Wände, auch die Aussenwandungen der Zellen anscheinend vollständig gebläut, doch kann man bei der Behandlung der Epidermis mit concentrirter Schwefelsäure die Cuticularisirung einer dünnen, äussersten Schicht als einen schmalen, nicht quellbaren Streifen erkennen, der

sich von dem ganzen übrigen Gewebe trennt. — Die Zellen der Epidermis weisen einen grossen Formenreichthum auf. Die Krümmung und Verästelung vieler Epidermiszellen, besonders derjenigen, welche in der Nähe des Fibrovasalstranges liegen (vergl. Taf. XX bei Ep) ist eine derartige, dass ein und dieselbe Zelle bei einem Querschnitt zwei- bis dreimal durchschnitten werden kann. Die Verzweigungen, welche die Tüpfel vertreten oder auch als solche aufgefasst werden können, vermitteln den Verkehr der Epidermiszellen unter sich und mit den anderen Geweben. Auf die Epidermis folgen meist (nach innen hin) als Uebergang zum Parenchym oder Phloëm grosse Zellen mit treppenförmig angelegten Tüpfeln (vergl. Taf. XX, Fig. 1 u. 2 bei Tt). Dem Fibrovasalstrange gegenüber liegen zu beiden Seiten des Funiculus Epidermiszellen, die eine Membran besitzen, welche durch eigenthümlich regelmässige Verdickungen resp. Tüpfelung auffällt (vergl. Fig. 1 bei ht). Diese Tüpfel kommen der Form nach den Hoftüpfeln sehr nahe. Diese regelmässig an derselben Stelle des Funiculus von Pisum wiederkehrende Zellform ist jedoch, obgleich nie fehlend, in ihrer Eigenthümlichkeit nicht immer gleich deutlich ausgebildet und wird weiter unten bei dem Mechanismus der Ablösung, für welchen dieselbe besonders in Betracht kommt, weitere Beachtung finden.

Der Theil der Epidermis, der dem Fibrovasalstrange gerade gegenüber liegt, zeigt zwei oder drei Reihen mehr oder weniger gleichmässig ausgebildeter Zellen. An dieser Stelle befindet sich bei vollständig ausgewachsenen Funiculis nahe am Samen ein Einschnitt, so dass sich der Querschnitt der Herzform nähert.

Das Phloëm umgiebt im Allgemeinen das Xylem, aber am Grunde des Funiculus (an dem Placentaende) sind die Theile des Xylems und Phloëms unregelmässig vertheilt. Das Phloëm ist stark ausgebildet und zeigt dieselben Siebröhren mit Siebplatten (Taf. XX, 1 bei Sp), die Pisum sativum überhaupt eigen sind; im Uebrigen besteht das Phloëmparenchym aus langgestreckten Elementen mit sehr zarter Membran.

Das Xylem des Funiculus besteht zum Unterschiede von dem übrigen Holzkörper der Pflanze ausschliesslich aus Tracheïden mit spiralig verdickter Wandung, welche bis zu vier nebeneinanderlaufende Schraubenwindungen zeigt. Es fehlt jede andere Form von Wandverdickung, wie die ringförmige und die Tüpfelbildungen,

durch deren Mannigfaltigkeit sich der Holzkörper auszuzeichnen pflegt. Das Tracheïdenbündel weist auf dem Querschnitt nicht selten eine strahlige Anordnung und in deren Centrum bei zunehmendem Alter einen sich durch fast den ganzen Funiculus ziehenden Intercellularraum auf. Im Allgemeinen ist auch der Durchmesser der einzelnen Tracheïden von einander nicht sonderlich verschieden. Die Elemente des Xylems haben meist einen verflochtenen Verlauf und die einzelnen Elemente machen sich dort, wo sie von der Placenta aufsteigen, durch bedeutende und sehr auffällige Verzweigungen und Ausstülpungen bemerkbar.

Das Schwammparenchym hat sehr grosse Intercellularräume, so dass der Querschnitt anscheinend vollständig isolirte Zellen aufweist. Die Zahl der Intercellularräume sowie deren Grösse nehmen nach dem Samen hin zu und erreichen ihren Höhepunkt in der Mitte des Querschnitts und in nächster Nähe des Samens. An dem dem Fibrovasalstrange gegenüberliegenden Theile des Funiculus verringert sich die Grösse der Zwischenräume, jedoch wird die Membran der Zellen erheblich dünner.

B. Der Zellinhalt der einzelnen Elemente des Funiculus mit Beziehung auf die Stoffleitung.

Quantität und Qualität des Zellinhaltes hängen von dem Alter des Funiculus ab. Im jungen Funiculus sind die Zellen alle fast vollständig mit plastischem Material gefüllt. Bei zunehmendem Alter verringert sich die Quantität des Inhaltes. Es finden sich im jungen Funiculus in allen Geweben in fast jeder Zelle mit Ausnahme des Xylems, ungleich vertheilt, viele Chlorophyllkörner, die jedoch mit zunehmender Reife zunächst am Samenende, wo sie von vorne herein spärlicher auftreten und dann allmählich nach der Placenta hin ganz verschwinden.

Die Epidermiszellen zeichnen sich durch Reichthum an Protoplasma aus, welches bei der Reife sich nur noch in den Tüpfeln findet. Ueber das Protoplasma ist noch zu sagen, dass es im Ganzen eine grünliche Färbung hat. Mit Ausnahme der Chlorophyllkörner wurden keine bestimmt geformten Chromatophoren gefunden. Später finden sich in der Epidermis die Chlorophyllkörner fast nur noch am Placentaende vor. Das Plasma ist mit heissem

Alkohol (durch den Soxhlet'schen Apparat) ausziehbar als eine gallertartige Masse und entwickelt, mit Kaliumhydrat geschmolzen, wie alle Eiweissstoffe reichliches Trimethylamin, welches letztere aus jenem Stoffe rein dargestellt werden konnte. Im trockenreifen Funiculus sind die Ueberreste des Eiweisses mit Xantophyll gemischt und zeigen in Folge dessen dem unbewaffneten Auge eine goldgelbe Farbe.

Die Zellen der Epidermis enthalten ferner Stärkekörner von sehr ungleicher Grösse und Form. Während einige zu den grössten gehören, die überhaupt im Funiculus von Pisum aufgefunden werden können, sind andere wieder klein und unansehnlich. Sie finden sich nicht in allen Zellen und sind unregelmässig vertheilt. Die meisten Stärkekörner sind oval, dann aber mit Längsrissen versehen. Diejenigen, welche von einer Zwillings- oder Drillingsbildung stammen, sind rund, doch fehlt an der Stelle, an welcher sie verwachsen waren, ein Segment.

Zucker konnte mittelst alkalischen Kupfersulphats in fast allen Zellen der Epidermis nachgewiesen werden.

Einige Epidermiszellen führen auch wohlausgebildete Calciumoxalatkrystalle (vergl. Taf. XX Fig. 1 u. 2 bei Kr). Letztere stehen bezüglich ihrer Grösse und Anzahl in directem Verhältniss zu dem Grade der Verdickung der Zellmembran, sie kommen auch noch in den der Epidermis zunächst gelegenen Partien des Schwammparenchyms vor. Ein Blick auf den am Längsschnitt (Taf. XX, Fig. 2) mitabgebildeten Theil des Fruchtblattes zeigt, dass auch hier (bei b), nur in weit grösserem Maasse Kalkoxalat sich in unmittelbarer Nähe der in drei, schräg am inneren Theile der Hülse sich hinziehenden, langgestreckten, kollenchymatischen und kleinlumigen Zellreihen aufgespeichert ist, so dass die einzelnen Krystalle zum Theil in der Zellwand festhaften und die kleinen, Krystalle enthaltenden Zellen, meistens von ihnen fast vollständig angefüllt sind. Diese Thatsachen sprechen deutlich für die Annahme, dass das die Cellulose bildende Material in Begleitung oder Verbindung mit einem Kalksalze (als Calciumglycose) durch den Pflanzenkörper wandert, wobei es, an Ort und Stelle angelangt, das Calcium als Oxalat abscheidet. — Von Wichtigkeit ist noch das Vorhandensein von Asparagin, welches sich in der Epidermis und den ihr zunächst liegenden Zellpartien nach der Behandlung mit Alkohol in deutlichen Nadeln relativ

reichlich vorfindet, während im Schwammparenchym die Krystalle nur vereinzelt wahrnehmbar sind. Da im Allgemeinen in der Literatur sich noch die Annahme verzeichnet findet, dass das Asparagin sich nur so lange in der Pflanze nachweisen lässt, als dieselbe noch nicht bis zur Blüthe gekommen ist und dieses Amid nur erst in wenigen Theilen weniger Pflanzen wirklich nachgewiesen ist, so sei es mir gestattet, am Schlusse der Beschreibung des Funiculus von Pisum auf eine mit Erfolg modificirte Methode der Auffindung der Asparaginkrystalle unter dem Mikroskope aufmerksam zu machen.

Das Phloëm enthält ebenfalls reichliches Protoplasma, welches hier wohl gelblichgrün gefärbt, aber meist so hyalin ist, dass eine häufig von mir beobachtete Bewegung, die oft sehr heftig ist, nur durch die vereinzelt vorkommenden Chlorophyllkörner erkannt werden kann, welche die Bewegung des Plasma's mitmachen; es scheint fast, als ob diese Bewegung eine regelmässige ist und in den einzelnen Zellen und Siebröhren das Plasma, wie ich oft constatirt habe, an der Xylemseite zur Placenta nieder und nach der Epidermis hin aufwärts steigt, d. h. nach dem Samen hin. Die Phloëmelemente enthalten ferner spärlich transitorische Stärke und anscheinend auch Amylodextrin, welche Substanzen in Eiweiss eingebettet liegen.

Das Schwammparenchym weist bei Weitem die meiste Stärke auf und zwar vorzüglich in der Mitte des Querschnitts, während nach dem Fibrovasalstrange hin Eiweiss überwiegt; nach der entgegengesetzten Seite hin nimmt der Stärkegehalt ebenfalls wieder ab. — Im Funiculus von Pisum lässt sich ferner Salpetersäure nachweisen. Da jedoch nur Spuren vorhanden sind, so erhält man die Diphenylaminreaction vorzüglich makrochemisch durch Auskochen mit Wasser, Entfärben mittelst Kohle und Eindampfen zur Trockene. Das Schwammparenchym ist am Grunde des Funiculus (Taf. XX, 2 bei a) der an Nährstoffen reichste Theil desselben. Hier finden sich die grösste Menge Eiweiss, eine grosse Anzahl Chlorophyllkörner, in reichlicher Menge Stärke und ferner ist gerade hier in jeder Zelle viel Zucker nachweisbar, der in den übrigen Theilen in weit geringerem Maasse vorhanden ist. Wir sehen hieraus, dass ein grosser Theil der Nährstoffe auch im Funiculus seinen Weg durch das Parenchym und wohl auch durch die Epidermis nimmt, und dass das Phloëm an der Leitung mehr in untergeordneter Weise be-

theiligt ist. Auffallend ist, dass auf der einen Seite ungleich mehr plastisches Material sich vorfindet wie auf der anderen Seite, dass an der letzteren der Strom desselben durch die viel weiter hinunterreichenden Epidermiszellen (Taf. XX, 2 bei c) aufgehalten zu werden scheint; ferner nimmt das Xylem deutlich seinen Weg nach der nährstoffreichen Seite hin (Taf. XX, 2 d x). Diese Thatsachen finden ihre Erklärung darin, dass die Fruchtblatttheile die Ovula gleichmässig, d. h. abwechselnd zu speisen haben, was auch daraus hervorgeht, dass, wenn die beiden Hülsentheile mit Gewalt von einander getrennt werden, die einzelnen Samen abwechselnd auf der einen und der anderen Seite haften bleiben. An der vorliegenden Zeichnung (Taf. XX, 2) würde die Trennungsstelle an der in der Placenta weit hineinreichenden Epidermis entlang (bei C), am querdurchschnittenen Xylem vorbei (x d) bis zur Mitte der Placenta und von da genau durch die Mitte der Fruchtblätternath laufen. Letztere, obgleich reichlich mit fest aneinanderliegenden Bastsklereïden und einem Panzer von Calciumoxalatkrystallen versehen, hat in der Mitte zwei Reihen Zellen mit ganz zarter Membran, und hier bricht die Hülse bei der Trockenreife entzwei.

Die Längsschnitte der Funiculi des vorhergehenden und des nachfolgenden Ovulum würden demnach Spiegelbilder der Figur auf Taf. XX, 2 darstellen. Wäre Letzteres nicht der Fall, so würden die Ovula ihre Nahrung nur durch eines der beiden Fruchtblätter oder nur durch die Hülsennath erhalten. Wider letztere Möglichkeit spricht die Abbildung, die, wie bemerkt, deutlich den Weg der Nährstoffe angiebt.

Gelegentlich einer Destillation einer grösseren Anzahl von Funiculis mittelst mit Salzsäure angesäuerten Wassers erhielt ich als Product flockige Ausscheidungen, die, mit Aether ausgeschüttelt, sich als ein wachsähnliches Fett erwiesen, welches in Consistenz und Aussehen mit jenem identisch zu sein scheint, welches den bekannten bläulichen Hauch auf den Erbsenhülsen und vieler anderer Früchte und Blätter bildet. Das Destillat enthielt, nebenbei bemerkt, wie erwartet Chlorammonium, welches in Wasser bei 100° überdestillirt und dem durch die Säure zersetzten, auch mikroskopisch nachgewiesenen Asparagin zuzuschreiben ist.

C. Der Mechanismus der Ablösung.

Der Lauf des Fibrovasalstranges und die starke Ausbildung des Schwammparenchyms stehen in Verbindung mit der mechanischen Ablösung des reifen Samens. Die motorische Kraft dieses Mechanismus wird hervorgerufen durch die bei der Reife vorsichgehende fast vollständige Entleerung des Funiculus sowie durch das Austrocknen der Zellmembran. Das Schwammparenchym zieht sich bei der eintretenden Trockenreife, durch die grossen Intercellularräume unterstützt, so sehr zusammen, dass das ursprüngliche Volumen, wie Messungen ergeben haben, auf die Hälfte reducirt wird. Es tritt nach dem Grunde des Funiculus hin zurück, so dass letzterer eine becherartige Vertiefung zeigt. Man vergleiche auf Taf. XX den noch im Wachsthum begriffenen Funiculus a und den bei d gemachten Längsschnitt a^1 mit den entsprechenden Figuren eines trockenreifen Funiculus b und b^1, woraus erhellt, dass der Samen mit Gewalt abgetrennt wird. Diese Gewalt der eintrocknenden Gewebe ist so gross, dass der obere Rand der kräftig entwickelten Epidermis sich über die entstandene Höhlung beugt, wodurch der Samen vollständig von dem ganzen Funiculus gelöst wird. Der Fibrovasalstrang würde eine weit grössere Widerstandsfähigkeit bedingen, wenn er in der Mitte läge, da er bei Weitem nicht so sehr im Stande ist, sich zusammenzuziehen wie ein Schwammparenchym und andrerseits das gleichmässig feste Aufliegen des Samens auf der Epidermis der Krümmung derselben hinderlich sein würde. Der Samen löst sich zuletzt von dem Fibrovasalstrange. Bei vielen Leguminosen bleiben die Samen noch lange nach der Reife an dem Fibrovasalstrange hängen, während sie schon von dem übrigen Theile des Funiculus frei sind.

In dem Mechanismus der Ablösung findet sich auch eine Erklärung für die eigenthümliche Zellform, welche sich zu beiden Seiten des dem Fibrovasalstrange gegenüberliegenden Theiles des Funiculus befindet (Taf. XX bei ht). Untersuchungen haben ergeben, dass diese Stellen gerade diejenigen sind, an welchen die Epidermis nach dem Austrocknen die grösste Krümmung gemacht hat und zwar wird die Epidermis hier in drei vertical aufeinander stehenden Richtungen nach innen gebogen, wodurch gerade diese Zellen be-

sonders stark zusammengedrängt werden. Es würden auf Taf. XX, Fig. 1 ht der Stelle ht[1] des nebenstehenden Funiculus entsprechen.

Methodischer Theil.

1. Eiweiss. Im Anschluss an die oben erwähnte Entwickelung von Trimethylamin bei Erhitzung von Eiweiss mit Kaliumhydrat möchte ich folgende Eiweissreaction empfehlen, wodurch die geringsten Spuren von Proteïnsubstanzen nachgewiesen werden. Die zu untersuchenden Pflanzentheile werden zerkleinert und mit lauwarmem Wasser mehrfach ausgezogen. Die vereinigten Auszüge werden alsdann colirt oder filtrirt und bis auf einen kleinen Rest eingedampft. Dann setzt man Kalilauge und Kupfersulphat zu und zwar ersteres im Ueberschuss und dampft bis zur Trockene ein. Diesen Rückstand erhitzt man dann am besten in einem Porzellantiegel oder auf einem zu diesem gehörigen Deckel; der penetrante nun auftretende Geruch nach Heringslake zeigt das Vorhandensein von Eiweiss an. — Der Zusatz von Kupfersulphat ist in allen Fällen geboten, um den meist vorhandenen Zucker zu oxydiren, dessen durch Ueberhitzen entstehenden empyreumatischen Gerüche das Erkennen geringer Mengen Trimethylamin unmöglich machen. Ein anderes Reagens für Trimethylamin, wie das auf den Geruchsnerv, giebt es vorläufig nicht, da es im Allgemeinen sich wie Ammoniak verhält und ebensowohl sich mit Säuren zu (geruchlosen) Salzen verbindet, rothes Lackmuspapier bläut und mit dem Nessler'schen Reagens einen gelbbraunen Niederschlag giebt, dabei entsteht es, wie auch in diesem Falle, meist in Begleitung von Ammoniak. — Zur quantitativen Bestimmung kann diese Reaction jedoch nicht benutzt werden, da, obgleich die bei der trockenen Destillation entstehenden Säuren an das Kaliumhydrat gebunden werden, es wohl schwierig sein wird, das in den zu erhitzenden Metallgefässen oder Porzellanretorten gebildete Trimethylamin und Ammoniak vollständig auszutreiben, obwohl wegen der Einfachheit der Manipulationen diese Methode vor den bekannten wohl den Vorzug verdient hätte. Zur Unmöglichkeit jedoch wird die Benutzung der Trimethylaminreaction zur quantitativen Eiweissbestimmung durch die Thatsache, dass die in allen möglichen Verhältnissen gemischten verschiedenen Eiweissarten einzeln ungleiche Mengen Trimethylamin entwickeln; so entstehen durch die angegebene Destillation mit Glutenfibrin nach

meinen Versuchen relativ bedeutendere Quantitäten des Amins wie bei dem gleichen Verfahren mit Mucedin und Gliadin; ebenso wird das Verhältniss des ebenfalls entstehenden Ammoniaks zum Trimethylamin ein nicht constantes sein; es würden durch diese Umstände bei der Analyse nicht auszugleichende Fehler entstehen.

2. Asparagin. Es fehlt bis heute noch ein specifisches Reagens auf Asparagin. Nach Borodin soll man zum Identitätsnachweis der nach dem Behandeln mit Alkohol im Pflanzengewebe entstandenen Krystalle nach dem Verdunsten des Alkohols zu jenen Schnitten eine gesättigte, wässerige Asparaginlösung treten lassen; Asparagin würde dann von löslichen Salzen allein nicht in Lösung gehen können (vergl. Borodin, Just's botan. Jahresberichte 1886, S. 919 und bot. Ztg. 1878 No. 51 etc.). Handelt es sich um geringe Spuren Asparagin, die sich in winzigen Krystallen bemerkbar machen, so liegt die Gefahr nahe, dass sie sich dennoch in der concentrirten Asparaginlösung ebenfalls auflösen; letztere bedarf nämlich nur einer Temperaturzunahme von einigen Graden, um eine relativ bedeutend leichtere Löslichkeit jener Krystalle zur Folge zu haben. Ein weiteres Bedenken hat Lüpke schon hervorgehoben (vergl. R. Lüpke, Ueber die Bedeutung des Kaliums in der Pflanze, p. 17), dass das Verdunsten der concentrirten Lösung beim Operiren ein Ausscheiden von Asparagin bewirken muss.

Pfeffer (vergl. die Bedeutung des Asparagins, Pringsheim's Jahrbücher, Bd. VIII, 1872) hat die Methode zur Gewinnung der Krystallnadeln von Asparagin im Pflanzengewebe genau beschrieben und sagt, es sei am besten mit Fliespapier kurze Zeit einen langsamen Strom von Alkohol unter dem Deckglase zu unterhalten, und ich kann nur bestätigen, dass sichere Resultate nur erzielt werden können, wenn die Pflanzengewebe, wenn sie wenig Asparagin enthalten sollten, längere Zeit mit Alkohol behandelt werden. Um mit Sicherheit Asparagin unter dem Mikroskope nachweisen zu können, ist es vor Allem nothwendig, dass das Material frisch ist oder man muss trockenes Material vorsichtig mit Wasser so anfeuchten, dass die Gewebe sich knapp wieder gefüllt haben. Bei der Behandlung mit Alkohol verfährt man am besten folgendermaassen: Mikroskopische Schnitte, welche zwei oder drei unversehrte Zelllagen enthalten, werden zunächst mit einigen Tropfen Alkohol von dem anhängenden Zellsafte befreit, damit dieser den das Präparat

umgebenden Alkohol nicht zu sehr verdünne und alsdann auf dem Objectglase, auf welches man noch einige Tropfen absoluten Alkohols träufelt, mit dem Deckgläschen bedeckt und lässt nun an einem nicht zu warmen Orte (15--20°) nahezu eintrocknen. Man wiederholt den Zusatz einiger Tropfen Alkohol noch mehrere Male und lässt zuletzt vollends eintrocknen. Dann feuchtet man wieder mit Alkohol an und nimmt das Präparat unter dem Mikroskope zur Untersuchung vor. Es werden alsdann auch Spuren von Asparagin sich als sehr charakteristische Nadeln zeigen und zwar starren sie entweder, auf der Wand der Zelle sitzend, in dieselbe hinein oder sie krystallisiren aus den durch den Alkohol coagulirten Eiweissmassen heraus und machen so auf den ersten Blick den Eindruck von zusammenhängenden Krystalldrusen mit langen Spitzen oder sie heben sich deutlich auf der Zellwand ab und bilden, wie in Fig. 3, Taf. XXI, deutliche Zeichnungen mit scharfen Conturen. Dass die Krystalle bei einfachem Zusatz von Alkohol plötzlich im Zellsafte sichtbar werden, kann nur bei relativ sehr grossen Quantitäten Asparagin vorkommen. Es scheint, dass durch den wiederholten Zusatz von Alkohol dem Zellsafte und der von diesem imbibirten Membran das Wasser allmählich gewaltsam entzogen wird, welches dann mit dem Alkohol langsam verdunstet, wodurch die Krystallbildung begünstigt wird. Es zeigen meistens auch die Pflanzentheile, welche längere Zeit in Alkohol gelegen haben, bei geringem Asparagingehalt nicht eher Krystalle, bis der Alkohol mindestens einmal verdunstet ist.

Asparagin löst sich in kaltem Wasser (bei 15°) zu 3,5 %; ein Zusatz von 50 % Alkohol und mehr zu einer solchen concentrirten Lösung bewirkte das Ausfallen des gesammten Asparagins in drei Stunden. Setze ich aber zu 40 g jener Lösung 10 g Alkohol, so sind in drei Stunden zwei Drittel des Asparagins (ca. 2,5 %) ausgefallen, nach 24 Stunden sind jedoch nur noch 0,37 %, also ein Zehntel in Lösung, welche im Laufe der Zeit zum grössten Theile noch auskrystallisiren. Hiernach kann die Angabe von Biltz (vergl. in der eben citirten Arbeit von Pfeffer, p. 534, Anmerkung), dass in 500 Theilen 60 % Alkohols sich ein Theil Asparagin lösen soll, nur einen höchst relativen Werth haben. —

Hiermit mag wohl direct zusammenhängen, dass das Asparagin auch im Zellsaft sich erst allmählich ausscheidet. Jedenfalls aber

ist hierdurch der Nachweis geliefert, dass die Länge der Zeit, in welcher sich die Asparaginkrystalle im Zellsaft bilden, von dem Asparagingehalte desselben abhängig ist, d. h., dass je weniger Asparagin gelöst ist, desto längere Zeit zur Krystallbildung erforderlich ist. Innerhalb der Pflanzenzellen scheinen keine anderen Krystallformen durch die Behandlung mit Alkohol zu entstehen, wie diese Nadeln, wenn man nicht, wie in den Geweben verschiedener Keimlinge (in einem gewissen Stadium), das Asparagin direct niederschlagen kann, obgleich aus einer reinen, wässerigen Lösung bei langsamer Verdunstung resp. Abkühlung sich fast ausschliesslich rhombische Plättchen bilden. Bei schnellerer Verdunstung, z. B. auf einem erhitzten Objectglase, entstehen pallisadenförmige Gebilde, von denen die grösseren durch scharfe Abkantung ausgezeichnet sind, während die kleineren mehr oder weniger unregelmässige Nadeln bilden, die den im Zellsaft entstehenden sehr ähnlich sind. Aus Taf. XXI, Fig. 4 ist jedoch ersichtlich, dass auch diese Nadeln nicht einem anderen Krystallsystem angehören, sondern aus rhombischen Plättchen entstanden und deutlich aus diesen zusammengesetzt sind. Eine weitere Form, in welcher das Asparagin nach schneller Verdunstung des Wassers uns entgegentritt, ist die der Sphärokrystalle, doch scheinen auch sie im Pflanzengewebe nach der Behandlung mit Alkohol nicht vorzukommen, obgleich die von einem Punkte ausgehenden Büschel in den Parenchymzellen (vergl. Taf. XXI, Fig. 3 u. 5) auf die Möglichkeit hindeuten, dass bei genügender Concentration und entsprechend langsamem Alkoholzutritt auch Sphärokrystalle entstehen können.

Die Gefahr, dass das Asparagin, wie man anzunehmen geneigt ist, leicht diosmiren kann, ist nicht so gross, da das Asparagin, im Begriffe zu diosmiren, sich sofort an der Membran ausscheidet, wenn seine Lösung mit absolutem Alkohol zusammenkommt. Wenn sich Asparaginkrystalle in der Umgebung des Alkoholpräparates befanden, so sind sie jedenfalls aus dem Zellsaft ausgefallen, der sich bereits ausserhalb der Gewebe befand. Die auf der Zellmembran (Taf. XXI, Fig. 3) aufliegenden Krystalle zeigen deutlich, dass das Asparagin nicht in den Alkohol übergeht, sondern sich in dem Augenblicke abscheidet, in welchem der Zellsaft im Begriffe ist, durch die Membran auszutreten. — Will man sich von dem Verhalten der sich im Gewebe vorfindenden Nadeln unter dem Mikroskope im polarisirten

Lichte überzeugen, so ist vor Allem ein äusserst feiner Schnitt erforderlich, der, wenn möglich, nur eine Zelllage enthält und auch dann noch bedarf es eines geübten Auges, um das Farbenspiel erkennen zu können, da diese Nadeln meist zu dick sind und ausserdem genügt das Licht nicht mehr bei der starken Vergrösserung, die bei Untersuchungen auf Asparagin immer anzuwenden ist und so erscheinen die Farben nicht nur matt, sondern auch dunkel. —

Aus allem bis jetzt über den Funiculus von Pisum Gesagten geht hervor, dass

1. derselbe der Leiter der Stoffe für den Samen ist;

2. der Fibrovasalstrang kein oder nicht der alleinige Leiter der Nährstoffe für den Samen sein kann, sondern dass Füllgewebe und Epidermis in hervorragendem Maasse an der Stoffleitung betheiligt sind, indem diese Gewebe gerade mit den der Diosmose besonders fähigen Stoffen, wie Zucker und Asparagin erfüllt erscheinen;

3. dass dem Funiculus ausser der Stoffleitung noch eine andere Arbeit zufällt, die der mechanischen Ablösung des Samens, wozu er anatomisch zweckdienlich eingerichtet ist, indem die schwammige Beschaffenheit und das daraus resultirende spätere Collabiren des Parenchyms einerseits und die kräftige Entwickelung der Epidermis andrerseits hierauf besonders berechnet sind.

II. Vergleichungen anderer Species.

1. Vicia faba.

Der Bau des Funiculus von Vicia faba unterscheidet sich hauptsächlich von demjenigen der Saaterbse durch die Lage des Fibrovasalstranges. Derselbe liegt von der Placenta bis zum Samen ausserhalb des Schwammparenchyms, zwischen diesem und der Epidermis und ist dem ganzen Verlaufe nach schon mit dem blossen Auge erkennbar, da er sich als erhabene Riefe deutlich abhebt. Wir können auch hierin eine zweckentsprechende Einrichtung für den Mechanismus der Ablösung sehen, weil das Schwammparenchym dadurch, dass es frei von dem Gefässbündel ist, viel leichter und vollständiger sich durch Eintrocknen zusammenzuziehen im Stande ist. Diese Thatsache erscheint zweckdienlicher wie bei Pisum, wo der Fibrovasalstrang inmitten des Schwammparenchyms Krümmungen

macht, um an der Epidermis des Funiculus in den Samen eintreten zu können.

Das Xylem besteht ebenfalls ohne Ausnahme aus Spiral-Tracheïden. Das Schwammparenchym zeigt in der Mitte des Funiculus noch grössere Intercellularräume wie bei Pisum. Eben hier findet auch wieder die grösste Stärkeansammlung statt, während die Proteïnstoffe nach der Epidermis hin überwiegen. Im Funiculus des unreifen Samens finden sich geringe Mengen Asparagin, dagegen viel Zucker, Stärke und Proteïnstoffe, die jedoch bei der Reife fast vollständig wieder verschwinden, da sie zur Bildung des Samens verwandt werden. Im trockenreifen Gewebe trifft man nur geringe, häufig kaum sichtbare Mengen mit goldgelbem Xantophyll gemengter Eiweissmassen an, die der Zellmembran ankleben. In dieses Stadium getreten, geht der Funiculus von der becher- bis keulenförmigen Gestalt zur sichelförmigen über, indem auch die Epidermis sich bedeutend mehr zusammenzieht wie bei Pisum, da ihre Zellen weitlumiger sind (vergl. Taf. XXI, Fig. 6a u. b).

Was die Lage des Fibrovasalstranges anbelangt, so dürfte das Schema von Pisum (Taf. XX, 2) Aufschluss geben. Während das Gefässbündel wieder wie bei Pisum an der Placenta nach der Mitte der Hülsennath liegt, verlässt er (Taf. XXI, Fig. 6c) diese Seite des Funiculus und wendet sich stets nach dem Fruchtstiele hin, also abwechselnd nach rechts und nach links.

2. Orobus niger.

Bei Orobus niger findet bei der Reife die Eintrocknung in noch höherem Grade statt wie bei Vicia faba, da der Funiculus alsdann fast fadenförmig ist (vergl. auf Taf. XXI, Fig. 7a u. b). Inhalt und Einrichtung sind im Allgemeinen von den vorher beschriebenen Funiculis nicht verschieden.

3. Lupinus luteus.

Der Funiculus von Lupinus ist anders gestaltet wie diejenigen von Pisum und Vicia; während diese an der Placenta ihren kleinsten Umfang und am Samen den grössten haben, ist jener gerade umgekehrt, an der Placenta breit und am anderen Ende zugespitzt (Taf. XXI, Fig. 9). Die Oberfläche des Funiculustheiles von Pisum,

der mit dem Samen direct verwachsen ist, ist, entsprechend der Form des Samens, concav, bei Lupinus ist der Samen jedoch an der Stelle des Funiculusansatzes concav und bildet eine 1,5 mm tiefe Oeffnung, die von der Spitze des Funiculus ausgefüllt wird. Es erhellt schon auf den ersten Blick, dass hier von keinem Ablösungsmechanismus im Sinne des bei Pisum beschriebenen die Rede sein kann.

Der Funiculus ist, ganz abweichend von anderen Papilionaceen, mit einem starken Steinzellenparenchym ausgestattet, welches ihm eine hornartige Beschaffenheit verleiht. Dieses Sklerenchym-Parenchym füllt das Samenende des Funiculus vollständig — abgesehen vom Fibrovasalstrange — und den übrigen Theil an der Epidermis entlang in breiten Lagen aus. Die Epidermis hat ebenfalls stark verdickte Zellmembranen, welche sowohl in der Epidermis wie im Sklerenchym mit diesem eigenen, feinen, tiefen Tüpfeln versehen sind und ausserdem eine deutliche Schichtung erkennen lassen. Die Zellpartien sind schon relativ früh ausgebildet und scheinen, da sie meist wenig und später gar kein Plasma enthalten, ein rein mechanisches Gewebe darzustellen. Auf Taf. XXI, Fig. 9 nimmt das Sklerenchym den Raum der mit ScP bezeichneten Stellen ein; daran schliesst sich nach der Mitte hin ein zartwandiges, reichlich mit Plasma gefülltes Parenchym an (Taf. XXI, Fig. 9 bei P). Dann folgen Phloëm mit meist langgestreckten Elementen und das Tracheïden-Xylem. Die äussere Samenschale besteht aus englumigen, kollenchymatischen Pallisadenzellen, welche an der Ansatzstelle des Funiculus (Taf. XXI, Fig. 9 bei Dr) eine doppelte Lage haben. Bei beginnender Reife des Samens, also wenn die Zellpartien schon ausgebildet sind, können die Nährstoffe nur durch das Phloëm und wenige diesem zunächst liegende Zellen in die Samen hineingelangen. Das Sklerenchym bricht bei Dr von dem Samen ab; es ist sehr spröde und zeigt eine ganz schwache Ligninreaction. Die Epidermis ist aussen mit vielen kleinen Calciumoxalatkrystallen besetzt und mit einer ganz zarten Cuticula versehen; ferner enthält sie ebensowohl wie das ganze Sklerenchym innerhalb der Zellen und zwar fast in jeder derselben viele, kleine, meist tetraëdrische Krystalle, die sich ebenfalls erst in Salzsäure lösten und bei Schwefelsäurezusatz, dadurch dass sich Gypsnadeln bildeten, als Kalksalze erwiesen. Es würden diese Thatsachen wieder für die bei Pisum erwähnte

Hypothese einer durch den Pflanzenkörper wandernden Calciumglycose sprechen.

Während sich bei Pisum häufig in der Mitte des Xylems bei eintretender Reife ein grosser Intercellularraum findet, ist das Tracheïdenbündel bei Lupinus meist zusammenhängend, so dass der auch hier in den meisten Fällen bei der Reife entstehende Intercellularraum ausserhalb desselben sichtbar wird. Einige Tracheïden isoliren sich dann häufig (vergl. Taf. XXI, Fig. 8) und haften einzeln oder zu wenigen zusammenhängend am Phloëm, während der grösste Theil als Bündel nur noch an einer Stelle an dem Phloëm anklebt. Es scheint, dass, da der reife Samen des Wassers nicht mehr bedürftig ist, die Tracheïden ausser Action gesetzt sind und dann als werthlos zusammenschrumpfen. Das Xylem besteht hier wiederum ausschliesslich aus Spiral-Tracheïden.

Ein Schwammparenchym ist als solches nicht ausgebildet und es fehlt ihm ja auch die Function desjenigen bei Pisum und Vicia faba. Der Inhalt des jenes vertretenden Parenchyms (Taf. XXI, Fig. 8 bei P) zeichnet sich durch eine bedeutende Menge Asparagin aus, welches in den Geweben mikroskopisch nachgewiesen werden kann, denn im Spirituspräparat zeigen sich die charakteristischen Krystalle in relativ grosser Menge. Das Parenchym enthält auch viele Eiweissstoffe und stellt somit auch hier einen Leiter für Nährstoffe des Samens dar.

Beim Aufspringen der trockenreifen Hülse, welches mit nicht unbedeutender Heftigkeit erfolgt, werden die Samen mit Leichtigkeit weggeschleudert, indem sie (an der Fig. 9, Taf. XXI bei Dr) vermöge der Brüchigkeit des Sklerenchyms abbrechen. Während nämlich im jugendlichen Stadium der Frucht die Gewebe des Funiculus und des Samens, weil sie gleichmässiger sind, fest aneinander hängen, da das Pallisadengewebe der Samenschale sowohl wie das Sklerenchym des Funiculus noch nicht differencirt sind, so fehlt später der Uebergang der beiden ungleichartigen Gewebe und somit auch der feste Zusammenhang.

4. Brassica Napus.

Der Funiculus von Brassica Napus ist wesentlich von den vorher beschriebenen Funiculis verschieden. Circa 0,6 mm breit, er-

reicht er eine Länge von mehr als einen halben Centimeter. Er ist meist mehrfach gewunden oder geschlängelt, selten gerade. — Es lassen sich auch hier Epidermis, Schwammparenchym, Phloëm und Xylem deutlich von einander unterscheiden. Die Membran der Epidermiszellen ist zwar ebenfalls bedeutend dicker wie die der übrigen Gewebe, jedoch relativ weniger wie bei Papilionaceen, welche Thatsache sich daraus erklärt, dass der Epidermis keine besondere Function zufällt, die sich bei Pisum dadurch bemerkbar macht, dass sich die kollenchymatische Epidermis langsam, aber mit besonderem Nachdruck nach innen biegt, um den Samen zu entfernen. Die Zellen verkehren unter sich mittelst treppenförmig angelegter Tüpfel; nach dem Schwammparenchym hin machen sich, seltener auftretend, ebenfalls breite Tüpfel bemerkbar (Taf. XXI, Fig. 10 bei Et).

Da für das Schwammparenchym wegen der langgestreckten Form des Funiculus und weil dieser auch keine arillusartige Wucherungen erfährt, sowie auch wegen des kräftig entwickelten Fibrovasalstranges relativ wenig Raum vorhanden ist, so finden sich die meisten grösseren Intercellularräume an der Spitze (dem Samenende) und an dem Uebergang in die Placenta, in welcher die Intercellularräume das Volum der Zellen bei weitem überwiegen.

Das Parenchym ist sehr weitlumig und trocknet, da seine Zellmembranen stark von Wasser imbibirt sind, bei der Reife zu einem äusserst zartblättrigen Gewebe zusammen. Die Dünne der Membranen macht eine besondere Tüpfelung zum Zwecke der diosmotischen Stoffwanderung zwischen den einzelnen Zellen unnöthig. Trotzdem befinden sich an der Spitze des Funiculus von Brassica Napus Zellen, deren Membranen im Querschnitt rosenkranzförmige Verdickungen zeigen. Manchmal werden diese Verdickungen in grösserem Umfange angetroffen (Taf. XXI, Fig. 10 bei Rt).

Das Phloëm enthält eine nicht gar zu grosse Anzahl von Siebröhren (Taf. XXI, 10 bei Sp), dagegen gewöhnliche, langgestreckte Parenchymzellen; es reicht an verschiedenen Stellen bis an die Epidermis.

Das Xylem enthält ausschliesslich Tracheïden von meist keulen- oder knochenförmiger Gestalt, nur in der Mitte des Bündels befinden sich besonders lange, schlauchförmige Elemente, die regelmässig spiralig gewunden sind (Taf. XXI, 10 x); die unregelmässiger gestalteten, nach dem Phloëm hinliegenden Partien zeigen häufig auch

entweder in ihrer ganzen Länge oder doch an den englumigen Stellen regelmässige Spirallinien, meistens jedoch eine Tüpfelung, welche den Uebergang zu Spiralen bildet (Taf. XXI, 10 Ut). Die Verdickungen correspondiren an den Enden mit denen der Nachbargefässe (Taf. XXI, 10 Tt).

Die Epidermiszellen sind vollständig mit Protoplasma angefüllt, in welchem im jugendlichen Stadium viele Chlorophyllkörner eingebettet sind. Mit Spiritus behandelt, zeigt gerade die Epidermis die meisten Asparaginkrystalle (Taf. XXI, Fig. 3), die sich theils auf der Zellwand abheben, theils aus dem coagulirten Eiweiss auskrystallisiren oder an der Membran sitzend in das Innere der Zelle hineinstreben. Das Asparagin findet sich jedoch nicht nur in der Epidermis, sondern auch in allen übrigen Geweben ebenfalls und ist zumal das der Epidermis zunächst liegende Schwammparenchym reichlich mit den charakteristischen Krystallen angefüllt.

Ausser dem Asparagin, dem Eiweiss und den Chlorophyllkörnern konnte noch Zucker und Salpetersäure nachgewiesen werden. Diese beiden letzteren Substanzen finden sich natürlich im Zellsafte gelöst und zwar wie bei Papaver (siehe weiter unten) des Näheren festgestellt werden konnte, in sämmtlichen Geweben einschliesslich des Xylems. Die genannten Stoffe, insbesondere das Asparagin und der Zucker, verschwinden bei der Reife aus den Geweben des Funiculus, sie stellen also das wandernde Material für den Samen dar.

Der Samen wird auch bei Brassica Napus bei der Reife von dem Funiculus gelöst und durch die aufspringende Schote fortgeschleudert. Es lässt sich auch hier eine besondere Einrichtung nachweisen, wodurch diese Ablösung vor sich geht. Als Placenta sind die an den Nähten der beiden Fruchtblätter sich befindenden Wucherungen der Scheidewand anzusehen (Taf. XXI, 10 bei c und c, wenn b die Scheidewand ist), aus welchen der Funiculus heraustritt. Letzterer läuft eine Strecke an der Naht entlang und erhebt sich dann erst nach der Mitte der Schote hin. Der Funiculus ist, soweit er an der Naht entlang läuft, durch Schwammparenchym mit der Placenta verbunden und dieses Schwammparenchym ist es, welches durch Eintrocknen eine Bewegung des Funiculus verursacht, indem der der Fruchtblätternaht entlang laufende Theil sich zusammenzieht. Der Samen jedoch kann diese Bewegung nicht mitmachen, da er in die überaus wulstige Scheidewand fest eingebettet liegt, gegen welche

er von dem Fruchtblatt der Schote gedrückt wird; er wird also losgerissen.

Die Spitze des Funiculus zieht sich besonders stark zusammen, wozu die eigenthümlich getüpfelten Membranen der dort sich vorfindenden Parenchympartien anscheinend behülflich oder doch förderlich sind (Taf. XXI, 10 Rt). Es würden diese rosenkranzförmigen Membranverdickungen den bei dem Funiculus von Pisum beschriebenen hoftüpfelartigen Gebilden entsprechen und allem Anscheine nach auch einem ähnlichen Zwecke dienen. Durch das so veranlasste Zurücktreten des Wulstes, mit welchem die Spitze dieses Funiculus mehr oder weniger versehen ist, wird der Samen schon etwas gelockert und dann durch die erwähnte Bewegung des Funiculus durch Reissen der spröden Spiral-Tracheïden völlig getrennt. Dass eine wirkliche Bewegung des Funiculus bei der Trockenreife stattfindet, lässt sich direct experimentell nachweisen, indem man eine reife Schote von Brassica öffnet, die Fruchtblätter von der Scheidewand trennt, an welcher die Funiculi haften bleiben und den Abstand der Spitzen derselben von dem Rande der Scheidewand misst; dann legt man die Scheidewand in Wasser, dem man etwas Alkohol zusetzt, um Zersetzungen und Blähungen innerhalb der Gewebe vorzubeugen und misst nach 24 Stunden wieder und vergleicht die erhaltenen Zahlen mit den vorigen. Man findet alsdann, dass die Spitze des Funiculus, nachdem sich die Placenta voll Wasser gesogen, sich meist genau um 0,4 mm von dem Rande der Scheidewand entfernt hat.

Aus dem über den Funiculus von Brassica Napus hier Mitgetheilten kann ich Folgendes resümiren:

Aus der Thatsache, dass die Epidermis und das Parenchym des Funiculus so viel plastisches Material enthalten, geht wieder hervor, dass die bis dahin meist verbreitete Ansicht, der Fibrovasalstrang sei der Haupt- oder einzige Leiter der Nährstoffe, eine irrige sein muss. Im trockenreifen Funiculus wird kein werthvoller Inhalt mehr angetroffen; die Gewebe sind alsdann fast vollständig entleert, ein Beweis, dass die Nährstoffe ihren Weg in quantitativ bedeutendem Maasse durch Epidermis und Schwammparenchym genommen haben und in den Samen gewandert sind.

Es geht aus den im Spirituspräparat massenhaft in Epidermis und Parenchym vorgefundenen Asparaginkrystallen ferner hervor,

dass die Behauptung, Asparagin komme nur so lange in der Pflanze vor, als sie noch nicht bis zur Blüthe gekommen sei, eine falsche ist. Wenn sich nun in der Keimpflanze von Brassica nach Pfeffer (vergl. Pringsheim's Jahrbücher 1872, Bd. VIII „Ueber die Bedeutung des Asparagins") kein Asparagin vorfindet, so muss es nachher entstanden sein, sei es nun als Assimilationsproduct oder als Zersetzungsproduct des Eiweisses zum Zweck der Diosmose. Es war überhaupt seltsam und unwahrscheinlich, dass nur das im Embryo oder im Endosperm aufgespeicherte Eiweiss im Stande sein sollte, sich so zu zersetzen, dass Asparagin gebildet wird.

Nach vollendeter Reife wird, wie oben bezüglich des Gewebeinhaltes allgemein bemerkt wurde, auch kein Asparagin im Funiculus gefunden, also auch dieses wandert in den Samen. In diesem findet sich jedoch nach erfolgter Reife überhaupt kein Asparagin (vielleicht mit einer Ausnahme, den Mandelsamen; vergl. Comptes rendues T. 83, p. 912, Portes & Premier), es ist also im Samen wieder zu Eiweiss regenerirt worden.

5. Smilacina stellata.

Die Funiculi von Smilacina stellata haben eine relativ kräftige Epidermis und deren Zellen nur ganz kleine Lumina. Das Schwammparenchym dagegen ist ein äusserst lockeres Gewebe, dessen grosse Intercellularräume ungleich mehr Raum einnehmen, wie die reichlich mit Nährstoffen gefüllten Zellen. Der Funiculus ist, abweichend von dem von Brassica, durch die kollenchymatische Epidermis hart und unbeweglich. Im Uebrigen sind die Gewebe sowie auch der Inhalt derselben von denen bei Brassica nicht sonderlich verschieden.

6. Papaver somniferum.

Die Funiculi von Papaver somniferum bedecken dicht gedrängt die ganze Placenta in Form von kleinen, warzenförmigen Erhöhungen. Die Epidermis hat grosse Zellen mit vielen kleinen, querlaufenden, länglichen Tüpfeln und ist in der Jugend mit Stärke und Plasma angefüllt. Das Xylem besteht nur aus spiralig verdickten Tracheïden, die sich aus den Fibrovasalsträngen der Placenta absondern und zum Samen verlaufen. Dieser Tracheïden sind nur wenige. Sie sind vom Phloëm, das vorwiegend aus langgestreckten, dünnwandigen Paren-

chymzellen besteht, begleitet. Das Schwammparenchym weist viele Intercellularräume auf, deren Zahl und Grösse nach der Mitte der Placenta zunehmen. Die Zellen des Schwammparenchyms sind unregelmässig getüpfelt und zwar haben die Membranen derjenigen Zellen, welche zunächst der Epidermis liegen, viel mehr, aber bedeutend kleinere Tüpfel; nach dem Inneren hin nehmen diese an den einzelnen Zellmembranen numerisch ab; sie werden aber selbst grösser. Nach der Mitte der Placenta hin können überhaupt keine Tüpfelungen mehr im Schwammparenchym wahrgenommen werden.

Der Funiculus ist auch hier in der Jugend mit plastischem Material vollständig angefüllt. Bei der Reife nimmt der Inhalt ab, um bei vollständiger Trockenreife nur noch spärliche Körnchen Xantophyll haltigen Plasma's zu bergen.

Placenta und Funiculus enthalten relativ grosse Mengen Asparagin und ist dasselbe mikroskopisch nachweisbar bis zur Reife des Samens, zu welcher Zeit es vollständig verschwindet. Auch im Funiculus der nicht zur Entwickelung gekommenen Samen sowie auch ganz besonders letztere selbst, sind nach der Behandlung mit Alkohol von den Krystallnadeln erfüllt (Taf. XXI, Fig. 5). In sämmtlichen Geweben des Funiculus befindet sich viel Salpetersäure, dass die Reaction mit Diphenylaminschwefelsäure schon mit blossem Auge erkannt werden kann, da sich der ganze Zellsaft des Funiculus wie der Placenta tiefblau färbt. Die Salpetersäure zeigt sich gleich deutlich in der Epidermis, im Schwammparenchym und im Phloëm. Im Xylem entsteht die blaue Farbe deutlich nur in der Wand der zarteren Tracheïden, während die stärkeren Elemente durch die concentrirte Schwefelsäure so stark gelb gefärbt werden, dass das Blau zum Theil verdeckt wird und eine grüne Farbe zum Vorschein kommt. Zur Controle, ob nicht während des Schneidens der Präparate der Zellsaft des Parenchyms in das Xylem getreten sei und dort die Salpetersäurereaction hervorgerufen haben sollte, liess ich die Scheidewand der Mohnkapsel scharf eintrocknen und legte dann die Schnitte direct auf Diphenylaminschwefelsäure. So ungünstig ein trockenes Präparat auch für diese Reaction ist, so konnte doch, wenn auch meist nur Bruchtheile von Minuten lang, eine deutliche grüne Farbe beobachtet werden. Jedenfalls aber ist in Anbetracht der Empfindlichkeit des Reagens der Gehalt des Xylems an Salpetersäure gering und auch geringer wie im Parenchym.

Die Samen des Mohn liegen bei der Reife lose in der Kapsel und werden durch einen Mechanismus zur Ablösung gebracht, der im Principe genau derselbe ist wie der bei Pisum beschriebene, mit dem Unterschiede, dass die Hauptaufgabe der Placenta zufällt, während der Funiculus erst in zweiter Linie in Betracht kommt. Das Schwammparenchym, welches durch Eintrocknen die Ablösung zur Folge hat, befindet sich innerhalb der Placenta. Der Act der Ablösung ist vielleicht mehr eine indirecte Folge der Contraction: In der jungen Frucht ist der ganze Raum der Kapsel angefüllt von den Placenten und Samenknospen; die Anlagen der letzteren finden sich so zahlreich vor, dass bei dem bald entstehenden Raummangel vielleicht die Hälfte ihr Wachsthum einstellen muss. Die übrigen Samen, welche im Kampfe um den Platz Sieger bleiben, entwickeln sich nun, ganz dicht an einander gedrückt, füllen aber immer noch mit der Placenta den grössten Theil der Kapsel an (Taf. XXI, Fig. 12). Bei dem Austrocknen der scheidewandförmigen Placenta nach erfolgter Reife wird, wie Messungen ergeben haben, die Breite derselben auf die Hälfte reducirt, folglich werden auch die Zwischenräume zwischen den einzelnen Funiculis um die Hälfte kleiner. Da aber die Samen an Grösse auch nach dem Eintrocknen der Frucht ganz oder fast ganz dieselben bleiben, so müssen sie sich gegenseitig von der Placenta verdrängen und losreissen. Taf. XXI, Fig. 13 veranschaulicht den Querschnitt einer trockenreifen Mohnkapsel im Vergleich mit einer frischen, Taf. XXI, Fig. 12 und ist hieraus der Vorgang ersichtlich.

Was die Verkümmerung der unreifen Samen anbelangt, so findet thatsächlich ein Kampf um den Platz statt, da Mangel an Nährstoffen deshalb nicht der Grund sein kann, da in den Rudimenten, wie bemerkt, eine grosse Menge Asparagin angetroffen wird (Taf. XXI, Fig. 5), welche quantitativ in directem Verhältniss zu dem später entstehenden Eiweiss steht.

7. Nymphaeaceen.

Die Nymphaeaceen zeichnen sich mit Ausnahme von Nuphar durch einen Samenmantel aus. Caspari sagt darüber: „Zu dem Wesentlichen, unter der Charakteristik Gesagten sei noch hinzugefügt, dass die Tetrasepaleae, deren Samen mit Samenmantel versehen ist,

durch diesen ein gutes Verbreitungsmittel haben, denn die zwischen ihm und dem Samen enthaltene Luft bewirkt nach dem Platzen der Frucht ein Schwimmen und Fortschwimmen der Samen. Bei Nuphar schwimmt die innere, weisse, sehr luftreiche Schicht der Fruchtböden, welche sich beim Aufspringen der Frucht von der äusseren grünen Schicht und von einander ganz trennen, mit den von ihr eingeschlossenen zahlreichen Samen, die keinen Arillus haben, auf der Wasserfläche fort und werden da ausgestreut, wo die Trägerin endlich verfault."

Unter dem, was man mit Samenmantel oder Arillus zu bezeichnen pflegt, versteht man im Allgemeinen eine Wucherung des Funiculus, welche erst nach der erfolgten Anlage des Samens bei dessen zunehmender Reife entsteht. Bei den Nymphaeaceen jedoch ist der Samenmantel als solcher schon vor der Befruchtung, also an der Samenknospe vollständig ausgebildet. Deshalb ist dieses Gewebe nicht als Arillus im gewöhnlichen Sinne aufzufassen. Ausserdem finden sich am Funiculus der Nymphaeaceen noch knotige Verdickungen vor, welche man sonst auch arillusartige Wucherungen nennt und zwar hat Nymphaea Lotos deren zwei, so dass der Funiculus die Gestalt einer Vase erhält (vergl. Taf. XXI, Fig. 14), während N. rosea, N. Sansebarensis (dieselbe Tafel, Fig. 15), N. coerulea sowie Euryale ferox (Fig. 17) und Euryale Amazonica (Victoria regia) (Fig. 16) nur eine Verdickung aufweisen. Die Samenknospen von Euryale sind orthotrop und haben einen mehr oder weniger regelmässig ausgerandeten Samenmantel. Gemeinsam ist dem Arillus von Nymphaea und dem von Euryale, dass der Fibrovasalstrang des Funiculus sich nicht in jenen hinein verzweigt, sondern sich von der Placenta direct in den Samen hinein erstreckt. Der ganze Samenmantel besteht aus einem gleichmässigen Gewebe länglicher, eckiger Zellen.

Nuphar luteum hat, wie oben bemerkt, keinen Arillus, es fehlt auch jede Anlage eines solchen bei der Samenknospe. Der Funiculus von Nymphaea besteht schon im frühesten Stadium aus von einander zu unterscheidenden Geweben, der Epidermis, dem Parenchym, dem Phloëm und dem Xylem. In den drei ersten Geweben findet sich überall ein scharf abgegrenzter, meist wandständiger Zellkern und viel transitorische Stärke. Die Membranen dieser Gewebe sind äusserst zart und nur die Epidermis hat eine wenig verdickte

Wandung. Die einzigen Intercellularräume befinden sich in der wulstigen Verdickung des Funiculus. Eine derartige Ausbildung der Epidermis, wie die bei den Leguminosen beschriebene, findet sich bei Nymphaea nicht, da hier der Epidermis ja auch keine mechanische Function zufällt. Sämmtliche Gewebe, mit Ausnahme des Xylems, erfüllt ein dicker Schleim, der wahrscheinlich dem Zellinhalte angehört, doch konnte ich genauer seinen anatomischen Charakter nicht ermitteln. Dieser Schleim unterscheidet sich aber von anderen ähnlichen Körpern dadurch, dass er sich aus frischem Material mit Alkohol ausziehen lässt und mit diesem vollständig gelatinirt und dass er erst durch bedeutende Alkoholmengen ausgefällt wird. Das Plasma ist schwach gelblich gefärbt und meist hyalin. In dem Parenchym und dem Phloëm findet sich ebenfalls viel transitorische Stärke, deren einzelne Körner klein und von durchweg gleicher Grösse und ziemlich regelmässig sind. Das Phloëm ist nicht so deutlich ausgebildet wie bei anderen Funiculis, bei Pisum, Brassica etc. Die geringe Anzahl der Tracheïden im Funiculus von Nymphaea, die meistens bis gegen fünf beträgt, fällt nicht besonders auf, da Wasserpflanzen, wie bekannt, nie ein starkes Xylem haben. Dasselbe ist auch hier sehr regelmässig ausgebildet und besteht ausschliesslich aus Elementen mit spiralig gewundenen Wandverdickungen.

Die Funiculi der ganzen Pflanzenfamilie enthalten sämmtlich viel Asparagin. Ferner fand sich überall Salpetersäure, aber kein Zucker. — Der Funiculus von Nuphar ist von dem von Nymphaea durch eine kräftiger entwickelte Epidermis unterschieden und wird auch in Folge dessen von dem übrigen Theile der Frucht bei dem Aufplatzen derselben nicht losgerissen.

8. Epilobium angustifolium.

Der Funiculus von Epilobium angustifolium ist sehr kurz, jedoch kann man besonders in der Jugend Epidermis, Parenchym, Phloëm und Xylem unterscheiden. Die drei ersten, zarten Gewebe enthalten Plasma und transitorische Stärke. Das Xylem besteht wieder nur aus Spiral-Tracheïden. Im trockenreifen Zustande ist der Funiculus so sehr zusammengeschrumpft, dass er kaum erkannt werden kann. Ueber den Haarschopf der Samen von Epilobium sagt Harz (Samen-

kunde, p. 875), letztere seien in der Chalazagegend mit einem meist haarigen Arillus versehen. Da man aber einen Arillus gewöhnlich als eine Gewebewucherung des Funiculus definirt, so möchte jene Ausdrucksweise leicht zu Irrthümern Veranlassung geben. Wir können es hier mit keinem Arillus im gewöhnlichen Sinne zu thun haben, denn die Samen sind anatrop und die Haare sitzen in der Chalazagegend, während der Funiculus am entgegengesetzten Ende des Samens diesen mit der Placenta verbindet.

Die Samenhaare bilden sich schon im allerfrühesten Stadium aus, indem sich zunächst an dem kaum entwickelten Ovulum an den Zellen, welche von der Mikropyle aus am äussersten Ende des Samens liegen, kleine Ausstülpungen bemerkbar machen (vergl. Taf. XXII, Fig. 20), die durch Vergrösserung der Zellen des äusseren Integuments entstehen und mit anfänglich ganz hyalinem Protoplasma gefüllt sind. Diese vergrösseren sich mehr und mehr und bald treten die Zellkerne dieser Zellen in jene Auswüchse. Bei dem weiteren Wachsthum dieser Zellen entfernt sich in denselben der Zellkern langsam vom Samen und zwar halten sämmtliche Zellkerne bei dieser Bewegung ziemlich gleichen Schritt, so dass sie stets gleichweit, jedoch bei den ausgewachsenen Haaren kaum ein Zehntel ihrer Länge vom Samen entfernt sind. Es findet im Laufe des Wachsthums keine Zelltheilung statt und die Haare bestehen aus je einer Zelle, die sich nach beendeter Ausbildung vollständig entleert. Durch den Druck der anliegenden Samen sowie durch die Reibung der zarten Trichomgebilde mit der Fachwand der Kapsel während des rapiden Wachsthums sind dieselben anfangs oft zur Seite oder nach rückwärts gebogen. Alsdann aber, wenn sie kräftiger geworden sind — es zeigt vor Allem die Trichomspitze (vergl. Taf. XXII, Fig. 23 bei S) eine verdickte Wandung —, wachsen sie gerade aus und drängen sich der Länge nach in dem Raume zwischen den einzelnen Samenknospen und der Fachwand nach oben. Bei der Entfaltung der Blüthe, also vor der Befruchtung, sind die Samenhaare schon vollkommen ausgebildet; das durch den Funiculus wandernde Material wird dann vollständig und ausschliesslich zur Entwickelung des Samens verwandt.

9. Asclepias cornuti.

Bei Asclepias cornuti liegen die Verhältnisse ganz ähnlich wie bei Epilobium. Ein Unterschied besteht darin, dass die Samenhaare nicht in der Chalazagegend, sondern an der Mikropyle des anatropen Samens in unmittelbarer Nähe des Funiculus sitzen. Letzterer ist hier wieder so kurz, dass man kaum von einer Gestalt sprechen kann, doch lassen sich immerhin in der Jugend Epidermis, Parenchym, Phloëm und Xylem unterscheiden.

Harz sagt in seiner Samenkunde, dass der Mikropylesaum des Samens von Asclepias in einen Haarschopf auswächst.

Die Samenhaare entstehen auf dieselbe Weise wie bei Epilobium, indem die Zellen des äusseren Integuments an dem Ende des Samens, welches die Mikropyle trägt, zu dem Haarschopf auswachsen. Diese einzelligen Haare füllen tiefe Rinnen der Placenta aus; die erhabenen Riefen derselben tragen die Samen. Die centrale Placenta ist durch ein äusserst lockeres Schwammparenchym ausgezeichnet und zieht sich bei der Reife durch Entleerung und Eintrocknen sehr stark zusammen, so dass die Samen, durch die sich nicht zusammenziehenden Samenhaare aufgehalten, von der Samenleiste abgestreift werden.

Der Samenhaarschopf liegt vom Samen aus nach der Narbe hin, und an der Anheftestelle desselben bemerkt man neben ihm den winzigen Hilus, der nur manchmal von einer geringen Wucherung der Integumente gekennzeichnet ist. Hat der Samen die Frucht verlassen, dann bleibt die Placenta als trockene, tieffurchige Leiste zurück und es sind dann erst genau die Stellen zu erkennen, an denen die Samen befestigt waren, denn es ziehen sich von den betreffenden Anheftstellen aus Gefässbündel zu den übrigen Vasalsträngen der Placenta hin. Man könnte nun die übrig gebliebenen zusammenhängenden Stellen, an welchen die Samen befestigt waren und welche die tiefen Furchen der Placenta verursachen, für Reihen verwachsener Funiculi halten, weil sich hier in den unverzweigten Gefässbündeln ebenfalls ausschliesslich spiralig verdickte Tracheïden vorfinden bis zu den Gefässbündeln hin, welche der Länge nach die Placenta durchlaufen, die wieder getüpfelte und ringförmig verdickte Holzgefässe aufweisen und sich verzweigen. Bemerkenswerth ist,

dass die Samenhaare erst bei beginnender Trockenreife verholzen, während sie vorher keine Ligninreaction erkennen lassen.

10. Magnolia tripetala.

Der Funiculus von Magnolia ist im Vergleich mit anderen Funiculis besonders merkwürdig insofern, als die Samen bei der Reife an langen, zarten Fäden aus der Frucht hängen; diese Fäden entstammen dem Funiculus.

Prantl sagt darüber: „Bei den meisten Magnolia und Michelia springen die Balgfrüchte am Rücken auf und hängen dann die mit fleischiger Aussenschicht versehenen Samen an den sich abrollenden Spiralgefässen des Funiculus aus den Früchten herab."

Der Funiculus hat ungefähr die Form des bei Lupinus beschriebenen, jedoch ist er bedeutend kürzer.

Er besteht im frühesten Stadium des unbefruchteten Ovulum aus einer Epidermis, an welche sich das Parenchym schliesst. In der Mitte des Funiculus liegen relativ grosse Partien langgestreckter Zellen. In diesen entstehen durch Resorption der Zwischenwandungen spiralig verdickte Elemente, die sich als Tracheïden und nach kurzer Zeit Ligninreaction erkennen lassen. Diese Tracheïden unterscheiden sich zunächst durchaus nicht von denjenigen der anderen Funiculi. Die langgestreckten Zellen, aus welchen jene Tracheïden entstehen, sind mit wasserhellem, stärkelosem Protoplasma gefüllt. An diese Zellen grenzt nach der Epidermis hin dünnwandiges Parenchym, welches eine deutliche Stärkescheide erkennen lässt, die als solche sich bis ins Ovulum hinein verfolgen lässt. Die Production der Tracheïden nimmt in denselben Zellpartien ihren Fortgang und auch sie zeigen alle nach kurzer Zeit Gehalt an Lignin. Wenn nun ca. 12—15 Tracheïden entstanden sind, lässt sich bei den letzten und noch hinzutretenden eine deutliche Abnahme des Ligningehaltes constatiren.

Während im Allgemeinen junge Tracheïden im Entstehungszustande noch nicht, sondern nach wenigen Tagen erst Lignin enthalten, welches bald soweit zunimmt, dass bei der Phloroglucinreaction eine kirschrothe Farbe eintritt, so ist an den Tracheïden der Magnolia-Funiculi, wenn auch sich eine blassrothe Farbe erkennen lässt, eine Zunahme der Verholzung nicht zu bemerken. Nun aber entstehen

immer noch neue Tracheïden, welche überhaupt nicht mehr verholzen und keine Spur einer Ligninreaction mehr erkennen lassen. Während bei anderen Funiculis die Tracheïden nach kurzer Zeit, vielleicht bis zur Zeit der Befruchtung, vollständig ausgebildet sind und an Zahl nicht mehr zunehmen, nimmt die Tracheïdenproduction bei Magnolia ihren Fortgang und zwar so lange, bis die im jungen Funiculus zu diesem Zwecke vorgebildeten langgestreckten Zellen alle in Spiraltracheïden umgewandelt sind und diese den bei weitem grössten Raumtheil des Funiculus in Anspruch nehmen. Das Xylem des Funiculus von einem normal entwickelten, reifen Samen besteht aus ca. 120—150 Spiralgefässen, von denen jedes einen Durchmesser von 40 Mikromillimeter hat. Die Wandverdickung der Spiralen ist drei Mikromillimeter breit.

Im Parenchym des Funiculus zerstreut, liegen noch viele Gruppen verholzter, getüpfelter, ovaler Zellen, welche wohl nur den Zweck eines mechanischen Haltes haben. Durch das Schütteln der Samen in der zeitig sich öffnenden Frucht brechen jene leicht von den wenigen Zellen ab, welche ausser den vielen Tracheïden die Spitze des Funiculus ausmachen, während die Tracheïden vermöge ihrer Elasticität nicht reissen, sondern sich abwickeln, indem nur die dünnwandigen Stellen der Membran reissen.

Die Samen können nun bis über 4 cm aus der Frucht fallen, ohne dass die zarten Fäden reissen. Dieselben würden nun nach der Reife noch lange an dem Baume hängen bleiben, wenn nicht ein anderer Umstand zu Hülfe käme, der darin besteht, dass bei eintretender Trockenreife die tracheïdenförmigen Elemente nachträglich noch verholzen und spröde werden, in Folge dessen sie durch die durch den Wind verursachten Schwingungen abbrechen und die befreiten Samen fortgeschleudert werden.

Tracheïdenfasern von fast reifen und solche von trockenreifen Funiculis nebeneinander mit Phloroglucin und Salzsäure behandelt, zeigen deutlich den Unterschied, indem die jüngeren fast farblos bleiben, während die älteren eine bedeutende Röthung zeigen. Es besteht diese Thatsache, dass voll ausgewachsene Tracheïden erst nach relativ langer Zeit verholzen, wohl als Ausnahme, da, wenn überhaupt Verholzung eintritt, dieselbe sehr frühzeitig zu beginnen pflegt. Von allen Tracheïden des Samens sind nur die Spiral-Tracheïden ligninfrei. Es bezieht sich dies auch auf alle Ver-

zweigungen der Fibrovasalstränge in der Samenschale, aus welcher man sie ebenfalls leicht durch Herausziehen entfernen kann. Wenn auch die Frage bezüglich der Einwirkung des Lignins auf die absolute Festigkeit der Zellhaut noch offen bleibt, so scheint das Lignin doch die Sprödigkeit der Zellwand zu bedingen, was auch die Ligninbestimmungen von F. Schultz darthun, wonach

1. Wallnussschale . . . . . 56,92 %,
2. Eichenholz . . . . . 54,12 %,
3. Roggenstroh . . . . . 46,25 %,
4. Kiefernholz . . . . . 41,99 % und
5. Flachs . . . . . 17,08 %

Lignin enthalten, welche Reihenfolge bezüglich des Sprödigkeitsgrades mit unseren täglichen Erfahrungen in Einklang steht.

11. Nicotiana Tabacum.

Die Funiculi der Solanaceen sind je nach den verschiedenen Fruchtarten, welche in dieser Familie vorkommen, verschieden. Der Funiculus von Nicotiana ist warzenförmig. Der Samen liegt in einer kraterförmigen Vertiefung des Funiculus eingebettet. Die Epidermiszellen sind sehr breit und haben eine zarte Membran. An die Epidermis schliesst sich ein wohl ausgebildetes Schwammparenchym. Der Fibrovasalstrang geht durch die Mitte des Funiculus und besteht aus reichlich mit Plasma gefülltem Phloëm und einem Xylem mit nur spiralig verdickten Tracheïden. Das Schwammparenchym ist mit vielen Intercellularräumen durchsetzt, dessen Zellen enthalten Proteïnstoffe und transitorische Stärke. Die Epidermis enthält ebenfalls diese Stoffe. Die Intercellularräume des Schwammparenchyms, welches in das der Placenta übergeht, nehmen nach der Mitte der letzteren hin an Grösse und Zahl zu. Durch diese Intercellularräume unterstützt, zieht sich die Placenta bei der Trockenreife der Frucht analog den Erscheinungen bei Pisum und Papaver zusammen. Es sind an diese Thatsache wieder besondere mechanische Vorgänge geknüpft. Der Ablösungsact der Samen geht bei Nicotiana in derselben Weise vor sich wie bei Papaver. Das Eintrocknen der Placenta ist auch von Einwirkung auf die äussere Gestalt der Frucht und vor Allen auf die entstehenden Oeffnungen der Kapsel, da durch das Eintrocknen die

Form der Frucht gänzlich verändert wird. Taf. XXII, Fig. 25 stellt eine fast reife Frucht dar, welche eine solche Menge ausgebildeter Samen enthält, dass sie sich einzeln auf der Kapselwand nach aussen hin abheben. In der trockenreifen Frucht Taf. XXII, Fig. 26 ist die Placenta nach der Spitze hin eingetrocknet. Die Scheidewand hat sich jedoch von der oberen Seite grösstentheils abgelöst und gestattet einen freien Durchschnitt der Samen in beide Fächer. Durch das Eintrocknen und Zusammenziehen der Placenta haben sich die bisher entferntesten Punkte der Kapsel bedeutend genähert, so dass die vorher eiförmige Frucht nun im Längsschnitt einem umgekehrten Trapez nahe kommt. Die Kapsel musste dabei nothwendig springen, da der Umfang des oberen Theiles der Kapsel ein bedeutend grösserer geworden ist. Es sind auch hier durch das Einschrumpfen der Placenta die Funiculi einander so nahe gerückt, dass die Samen sich gegenseitig von einander losreissen müssen. Genau denselben Ablösungsvorgang beobachten wir bei Hyoscyamus und Capsicum. Letztere haben alle eine grössere Anzahl von Samenanlagen, wie zur Entwickelung kommen können.

12. Beerenfrüchte.

a) *Capsicum annuum.* Der Funiculus von Capsicum annuum ist auch warzenförmig und sehr kurz. Er besteht wieder aus Epidermis, Schwammparenchym, Phloëm und Xylem. Letzteres hat wiederum nur Spiral-Tracheïden. Die ersten drei Gewebe bestehen aus zartwandigen Elementen, die Plasma, transitorische Stärke und wenig Zucker enthalten. Das Schwammparenchym des Funiculus geht auch hier in dasjenige der Placenta über. Die Gewebe des Funiculus enthalten ätherisches und auch fettes Oel, denn der Aetherauszug hinterlässt einen bei 110° nicht flüchtigen auf Papier durchscheinenden Fettflecken.

Placenta und Funiculus von Capsicum geben starke Salpetersäurereaction. Durch Auskochen der mikroskopischen Schnitte auf dem Objectglase mit Wasser entsteht nach dem Verdunsten des letzteren ein Kreis von Krystallen um jene Schnitte herum. Diese Krystalle, in zwei Theile getheilt, geben einerseits starke Salpetersäurereaction und andererseits liessen sie sich mit Platindoppelchlorid durch die charakteristischen Würfel als Kaliumsalz erkennen. Da

sich nun in den Geweben des Funiculus die Salpetersäure nachweisen liess, so muss auch das Kalium, da es an dieselbe gebunden ist, in den Geweben vorhanden sein. — Auch bei Capsicum sind die Samenanlagen dicht aneinander gedrängt, so dass die reifen Samen, wie bei Nicotiana, durch das Eintrocknen der Placenta sich gegenseitig abstreifen müssen.

b) *Solanum Dulcamara.* Im Stadium der Befruchtung sitzt das Ovulum (vergl. Taf. XXII, Fig. 27) an einem kurzen, dicken Funiculus frei an der Placenta. Dieser Funiculus besteht, wie gewöhnlich, aus Epidermis, Parenchym und einem Fibrovasalstrange, dessen Xylem aus Spiral-Tracheïden zusammengesetzt ist. Die innere Fruchtwand (vergl. Taf. XXII, Fig. 27a) weist im Querschnitt nur wenige unbedeutende Erhabenheiten auf. Aber kurze Zeit nach der Befruchtung ist das Bild des Querschnitts schon ein ganz anderes (Taf. XXII, Fig. 28). Die Placenta ist bedeutend grösser geworden und hat mehrere grössere und kleinere Intercellularräume, die vorher fehlten; ebenso haben sich die Pfeile der Scheidewand verbreitert und die innere Fruchtwand zeichnet sich durch unregelmässige Höcker aus, die weit in das Innere der Frucht hineinragen. Im Laufe des weiteren Wachsthums aller dieser Wucherungen berühren die grösseren Höcker der Fruchtwand schon einige Ovula und drängen diese in die an Intercellularräumen reiche Placenta zurück, welche letztere, zwischen die einzelnen Ovula gedrängt, nun der Fruchtwand resp. ihren Höckern entgegen wächst, bis sie sich berühren. Allmählich werden nun alle Ovula von den gemeinsamen Wucherungen der Fruchtwand, wie der Placenta eingeschlossen. Der Umstand, dass die einzelnen Ovula, die einen früher, die anderen später, von den Gewebewucherungen eingeschlossen und dann an weiterem Dickenwachsthum verhindert werden, hat zur Folge, dass die Samen später von ganz verschiedener Grösse sind, wodurch die Frucht keinen symmetrischen Querschnitt mehr bietet (vergl. Taf. XXII, Fig. 29). Die Epidermiszellen der Placenta wie der inneren Fruchtwand waren bis zur Berührung der beiden letzteren ausgezeichnet dadurch, dass sie mehr oder weniger gleichmässige, rechteckige Gestalt hatten (Taf. XXII, Fig. 29Ep) mit bedeutend hyalinerem Plasma und mit weniger Stärke gefüllt waren wie die übrigen Zellen der inneren Fruchtwand und Placenta. Die Epidermiszellen werden im Laufe des weiteren Wachsthums aneinander gepresst und die

doppelte Zellreihe giebt dem durch die Intercellularräume veranlassten ungleichen Drucke entsprechend nach und durch Verschiebung der einzelnen Zellen gehen sie eine innige Verwachsung ein. Alsdann wird auch der Inhalt der Epidermiszellen ein anderer. Sie füllen sich wie die übrigen Zellen mit Stärke und das Plasma ist nicht mehr hyalin und die früheren Epidermiszellen können bald nicht mehr von den anderen unterschieden werden. Die Gewebe des Samens sind im Vergleich mit den Parenchymzellen des übrigen Fruchtgewebes gleichmässiger, mit wenig transitorischer Stärke und mit fast farblosem Protoplasma gefüllt. Eine wirkliche Verwachsung mit den anderen Fruchtgeweben tritt nicht ein. Dass das Ovulum aber eine Nahrungszufuhr von allen Seiten erhält, kann man annehmen, da eine Cuticularisirung sowohl der Zellen des äusseren Integuments wie der an diese sich anschliessenden Zellen bei der zuverlässigen Reaction mit concentrirter Schwefelsäure nicht wahrgenommen werden kann und man somit zugeben muss, dass eine Diosmose stattfinden kann. Hierfür spricht ferner der Umstand, dass die zwei oder drei Zellreihen, welche dem Ovulum zunächst liegen, sich durch Stärkekörner, welche genau von der Form und Grösse derjenigen sind, die sich in den Integumenten befinden und durch hyalineres Plasma auszeichnen, während die Stärkekörner des übrigen Parenchyms grösser und die Plasmakörper mehr körnig erscheinen. Ob aber die Stoffleitung, wenn sie wirklich auch durch die Integumente hindurch stattfindet, für die Entwickelung des Samens von Bedeutung ist, lässt sich schwerlich beweisen, da bei Beginn der Reife die inneren Wandungen des äusseren Integuments schon mit der Verholzung beginnen, während die Aussenwandungen die Ligninreaction noch nicht zeigen, so dass von dieser Zeit an also eine Stoffzufuhr nur in die Zellen des äusseren Integuments stattfinden könnte. Zudem hat der Funiculus an der Wucherung der Placenta Theil genommen und sich verbreitert und dadurch, dass die Placenta am Ovulum vorbei zur Spitze desselben hinaufwächst, um mit den Geweben der Fruchtwand zusammenzustossen, so verkürzt, dass man seine Existenz kaum noch wahrnehmen kann.

c) *Physalis Alkekengi.* Bei Physalis Alkekengi geht die Entwickelung der Frucht genau in derselben Weise vor sich wie bei Solanum und man kann bei der reifen Frucht die Stelle des Funiculus, dessen Epidermis bei der Wucherung der Placenta mit nach

der Spitze des Samens hingezogen wird, nur daran erkennen, dass sich hier im Fibrovasalstrange nur Spiral-Tracheïden befinden, während das Xylem der übrigen Fruchttheile die mannigfaltigsten Formen und Tüpfelungen der Gefässe zeigen (vergl. Taf. XXII, Fig. 31 u. 32 Fibrovasalstrang der Placenta mit Fig. 33 u. 34 Fibrovasalstrang des Funiculus).

d) *Bryonia dioïca.* Die anatropen Ovula entwickeln sich in gewohnter Weise (vergl. die drei ersten Stadien ihrer Entwickelung: Taf. XXII, Fig. 36, 37 u. 38). Im Allgemeinen liegen auch hier die Verhältnisse ähnlich wie bei der Beere von Solanum Dulcamara. Eine Verwachsung des Ovulum mit der Placenta findet nicht statt, jedoch werden die Ovula mit Gewalt und fest in die Placenta hineingedrängt, indem sich die Samenanlagen (Taf. XXII, Fig. 38) umbiegen und anatrope Samenknospen bilden. Auf Taf. XXII, Fig. 35 ist ein Ovulum im Stadium der Blüthe. Wenn eine wirkliche Verwachsung einträte, so würde der Pollenschlauch die Mikropyle nicht erreichen können. Jedoch sind auch bei Bryonia die dem Ovulum zunächst liegenden Zellschichten, als von den übrigen Zellen der Placenta unterschieden, sehr gut zu erkennen, indem sie mehr Plasma, aber keine Stärke enthalten, während die vom Ovulum weiter entfernt liegenden Zellen viel Stärke und weniger Plasma enthalten. Das Ovulum enthält ebenfalls keine Stärke. Hieraus kann man ebenso wie bei Solanum schliessen, dass eine Diosmose zwischen dem Parenchym und dem Ovulum wahrscheinlich ist, zumal auch hier die Cuticularisirung fehlt. Es würde dann der Funiculus bis zum Beginn der Verholzung der Samenschale nicht der alleinige Leiter der Nährstoffe sein.

Auffallend ist, dass sich vom ersten Stadium an feinkörnige Stärke im Gewebe des unterständigen Fruchtknotens anzusammeln beginnt und quantitativ den Höhepunkt erreicht, wenn die Blüthenblätter sich innerhalb der Knospe auszubilden beginnen; ist jedoch die Blüthe vollständig entfaltet, dann ist auch das letzte Stärkekorn im Parenchym der Placenta verschwunden. Die Stärke ist offenbar zum Aufbau der Zellen der einzelnen Blüthentheile verbraucht worden. Nach der Befruchtung fängt dann die Stärkeansammlung allmählich wieder an und nimmt bis zur Fruchtreife zu. Es geht hieraus mit Sicherheit die Richtigkeit der mehrfach oben erwähnten Annahme hervor, dass das Parenchym in hervorragender Weise an der Stoffleitung betheiligt ist.

13. Canna iridiflora.

Der Funiculus von Canna iridiflora ist im frühesten Stadium cylindrisch und glatt. Bald jedoch (vergl. Taf. XXII, Fig. 39) entstehen in der Epidermis leichte, gleichgrosse Erhöhungen, dicht aneinander gedrängt. Eine jede besteht schon aus einer Gruppe von Epidermiszellen. Diese wuchern bald (Fig. 40) und werden schliesslich zu langen, weichen Haaren, die unregelmässig durcheinander wachsen und sich verworrenen Knäueln von Fäden gleich, als Polster um die Samen legen und einen grossen Theil der Frucht ausfüllen. Diese Wucherungen bestehen daher nicht aus einzelnen oder wenigen Zellen, sondern aus ganzen Geweben von nur gleichartigen, langgestreckten Zellen; diese sind mit fast farblosem Protoplasma gefüllt und haben einen meist wandständigen Zellkern (Taf. XXII, Fig. 42). Auch die Funiculi der nicht vollständig zur Ausbildung kommenden Samen nehmen an den Gewebewucherungen Theil. — Das Parenchym, welches sich an die Epidermiszellen anschliesst, ist ebenfalls sehr zartwandig. Das Phloëm ist parenchymatisch. Das Xylem besteht nur aus Spiral-Tracheïden und ist unverzweigt. — Im Funiculus konnten reichliche Mengen Eiweissstoffe, Kalisalpeter — letzterer wie bei Capsicum angegeben — und Zucker nachgewiesen werden.

14. Trockene Schliessfrüchte.

So ausgebildet der Funiculus in Kapselfrüchten, in Hülsen und Schoten ist, so wenig in die Augen fallend ist er bei Schliessfrüchten, bei welchen er nur insofern in Betracht kommt, als er der Stoffleiter für den Samen ist. Vollständig ohne Funiculus ist die Caryopse der Gramineen. — Sie macht von den vorher beschriebenen Früchten einen Unterschied, als eine wirkliche Verwachsung des Ovulums mit der Fruchtwand eintritt. Die Anlage der Frucht und der Blüthe findet schon statt, wenn der Halm sich erst wenig aus dem Erdboden erhoben hat. Bei einer Halmlänge von 15 cm (Taf. XXII, Fig. 43) sind die Höcker des Vegetationskegels der Frucht schon deutlich ausgebildet, und man kann die Differenzirung in die einzelnen Theile der Blüthe bereits erkennen. Bei einer Halmlänge von 25 cm (Taf. XXII, Fig. 44) bemerkt man

schon, wie die beiden Höcker, welche sich seitlich einer in der Mitte liegenden Erhöhung befinden, die letztere umschliessen. Diese drei Blattanlagen bilden die Frucht und verwachsen noch, bevor die Blüthe zur Ausbildung gelangt, vollständig miteinander. Die Spitzen der beiden sich an das Ovulum anlegenden Blattanlagen wachsen dann zu den beiden federartigen Narben aus. Während das Ovulum im Stadium der Befruchtung stärkelos ist, füllt sich der übrige Theil der Frucht allmählich mit transitorischer Stärke. Die zunächst dem Ovulum liegenden Zellen sind durch Chlorophyll grün gefärbt und reichlich mit Plasma gefüllt. Bei der Reife entleeren sich die ausserhalb des Ovulums liegenden Zellen. Wahrscheinlich wird der plasmatische Inhalt und die Stärke zur Bildung der Kleberschicht und zur Ausbildung der Fruchtschale benutzt.

Es geht nun aus diesen Thatsachen hervor, dass das Ovulum der Caryopse seine Nahrung nicht allein durch den Funiculus erhält, sondern dass das ganze übrige Gewebe sich an der Zuleitung der Nährstoffe betheiligt. Daher fällt die Bedeutung des Funiculus bei der Caryopse als alleiniger Leiter der Nährstoffe fort. Ebensowenig kann der Funiculus wegen der allseitigen Verwachsung einen mechanischen Halt des Samens zum Zwecke haben.

Nicht verwachsen mit der Fruchtwand und unbedeutend ausgebildet, d. h., er ist relativ kurz und glatt, ist der Funiculus bei der Achaene der Compositen, der Doppel-Achaene der Umbelliferen, dem Nüsschen der Labiaten, bei den Geraniaceen und vielen anderen Familien mit Schliessfrüchten; in diesen Fällen besteht der Funiculus auch aus Epidermis, Phloëm, Xylem und Parenchym (vergl. Taf. XXII, Fig. 45 Querschnitt des Funiculus von Heracleum dissectum, in welchem sich noch ausserdem Xylem-Zellpartien mit verholzten, getüpfelten, rundlichen Elementen befinden, die lediglich einer mechanischen Function dienen).

Ergebnisse.

Ueberblickt man nun die mitgetheilten Thatsachen, so kann man das Resultat dieser Arbeit in Folgendem kurz zusammenfassen:

Die Function, welche der Funiculus in allen Fällen ausübt, ist die der Stoffleitung für den Samen. Jedoch fällt dem Funiculus, wie häufig auch anderen Theilen der Frucht und der Blüthe, mit-

unter eine besondere Aufgabe zu, sei es die Ablösung der Samen zu bewerkstelligen, sei es, denselben als Arillus zum Schutz und Verbreitungsmittel oder als Polster zur Schonung zu dienen, dann aber zeichnet er sich durch Gewebewucherungen und überhaupt durch in die Augen fallende Gestaltung aus. — Ist der Funiculus jedoch nicht dazu berufen, ausser der Stoffleitung eine Rolle bei oder nach der Samenreife zu spielen, so tritt auch jene äussere Gestaltung in den Hintergrund; vor allem aber in jenen Fällen, in welchen der Samen die Frucht auch nach der Reife nicht verlässt oder doch von einem Theile der Frucht umhüllt bleibt.

Die Gewebe des Funiculus sind im Allgemeinen differenzirt in Epidermis, Phloëm, Xylem und (Schwamm-)Parenchym. Als Merkmal kann in fraglichen Fällen die Thatsache dienen, dass das Xylem nur aus Spiral-Tracheïden besteht und dass der Fibrovasalstrang des Funiculus nie verzweigt ist.

Der Inhalt der Zellen des Funiculus, soweit er nicht aus im Zellsafte unlöslichem Material (Calciumoxalat) besteht, das auch nach der Trockenreife noch im Funiculus vorgefunden wird, belehrt uns darüber, in welcher Form die Nährstoffe für den Embryo in den Samen gelangen, denn wir sehen diese Stoffe im reifen Zustande aus dem Funiculus verschwunden, also offenbar dem Samen zugeführt.

Der Inhalt der Funiculi besteht im Wesentlichen aus:

I. Eiweissstoffen (Protoplasma), welche stets vorhanden sind;
II. Zucker und Stärke — meist vorhanden und bisweilen
III. Salpetersäure, auch Kalisalpeter und Schleim, fette und ätherische Oele sowie Chromoplasten.

Und zwar finden sich diese Wanderungsstoffe vorwiegend im Parenchym und in der Epidermis, während das Phloëm allerdings auch solche Stoffe enthält, aber doch jedenfalls nicht der alleinige Träger derselben ist. Es würde das übereinstimmen mit der Hypothese, wonach das Phloëm weniger als Leitungsgewebe, sondern als Reservestoffbehälter für das Cambium behufs der Holzbildung aufzufassen ist, wie Frank (Pflanzenphysiologie, Berlin 1890, p. 162) zuerst ausgesprochen und Blass (Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft 1890, Heft 3) näher erwiesen hat.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel XX.

Fig. 1. Querschnitt des Funiculus eines fast reifen Samens von Pisum sativum am Samenende mit theilweise coagulirtem Plasma.

ht Tüpfel, ähnlich den Hoftüpfeln; St Stärke; Schwp Schwammparenchym; Tt treppenartig angelegte Tüpfel; Kr Calciumoxalat-Krystalle; Phl Phloëm; X Xylem; Ep Epidermis; Sch Celluloseschichtung. a und b Längsschnitte eines noch im Wachsen begriffenen und eines trockenreifen Funiculus. Trockenreifer Funiculus: Fvstrg Mündung des Fibrovasalstranges in den Samen; ht' Stelle, an welcher sich die Hoftüpfel befinden.

Fig. 2. Längsschnitt des Funiculus von Fig. 1.

Tt treppenartig angelegte Tüpfel; Schwp Schwammparenchym; Sp Siebplatten; Kr Calciumoxalat-Krystalle; Phl Phloëm; X Xylem; St Stärke; b Panzer von Cellulose und Calciumoxalat; f Fibrovasalstrang des Fruchtblattes; Chph Chlorophyll; a nährstoffreichste Stelle des Funiculus; c Epidermiszellen, welche die Trennungsstelle der Fruchtblatthälften angeben. g und e, 1, 2 u. 3 Querschnitte des Funiculus zur Orientirung über den Lauf des Fibrovasalstranges.

Tafel XXI.

Fig. 3. Asparaginkrystalle in Epidermis und Schwammparenchym von Brassica Napus.

Fig. 4. Krystalle von reinem Asparagin.

Fig. 5. Asparaginkrystalle in einem verkümmerten Samen von Papaver somniferum.

Fig. 6a fast reifer Funiculus von Vicia faba; b trockenreifer Funiculus; c Lauf des Fibrovasalstranges.

Fig. 7. Funiculus von Orobus niger, fast reif und trockenreif.

Fig. 8. Querschnitt des Funiculus von Lupinus luteus. Calciumoxalat an der Aussenseite der Epidermis.

SkP Sklerenchym-Parenchym; P Parenchym; Phl Phloëm; X Xylem; T Tüpfel.

Fig. 9. Schematischer Längsschnitt des Funiculus und Samenansatzes von Lupinus.

Pl Pallisadenzellen der Samenschale; Dr Durchreissstelle; SkP Sklerenchym-Parenchym; P Parenchym; Phl Phloëm; X Xylem.

Fig. 10. Längsschnitt eines ausgewachsenen Funiculus von Brassica Napus.

Et Epidermistüpfel; Rt Rosenkranztüpfel; X Xylem; Tt correspondirende Wandverdickungen; Ut Uebergangstüpfel zu Spiralen; Sp Siebplatten; Phl Phloëm; b Scheidewand der Schote; c Uebergang des Schwammparenchyms des Funiculus in das der Placenta.

Fig. 11. Querschnitt des Funiculus von Fig. 10 mit denselben Bezeichnungen.

Fig. 12 u. 13. Fast reife und trockenreife Frucht des Mohn.

Fig. 14—17. Funiculus mit Samenmantel von Nymphaea Lotos, N. Sansebarensis, Victoria regia, Euryale ferox.

Fig. 18. Funiculus von Nuphar luteum.

Tafel XXII.

Fig. 19—24. Entwickelungsgeschichtliche Darstellung der Samenhaare von Epilobium angustifolium.

Fig. 25 u. 26. Fast reife und trockenreife Frucht von Nicotiana Tabacum.

Fig. 27—29. Drei Stadien der Frucht von Solanum Dulcamara bis zum Verwachsen der Epidermis der Placenta mit derjenigen der Fruchtwand (bei Ep Fig. 29).

Fig. 30. Ovulum in der Placenta; Fv entspricht den Fig. 1 u. 2.

Fig. 31 u. 32. Querschnitt und Längsschnitt eines Fibrovasalstranges der Placenta einer reifen Frucht von Physalis Alkekengi mit zerstörten Chromatophoren.

Phl (zerstreutes) Phloëm; P Parenchym; X Xylem; Ot Oeltropfen.

Fig. 33 u. 34. Querschnitt und Längsschnitt des Fibrovasalstranges der Fig. 30 bei f.

Fig. 35. Ovulum von Bryonia dioica zur Zeit der Blüthe.

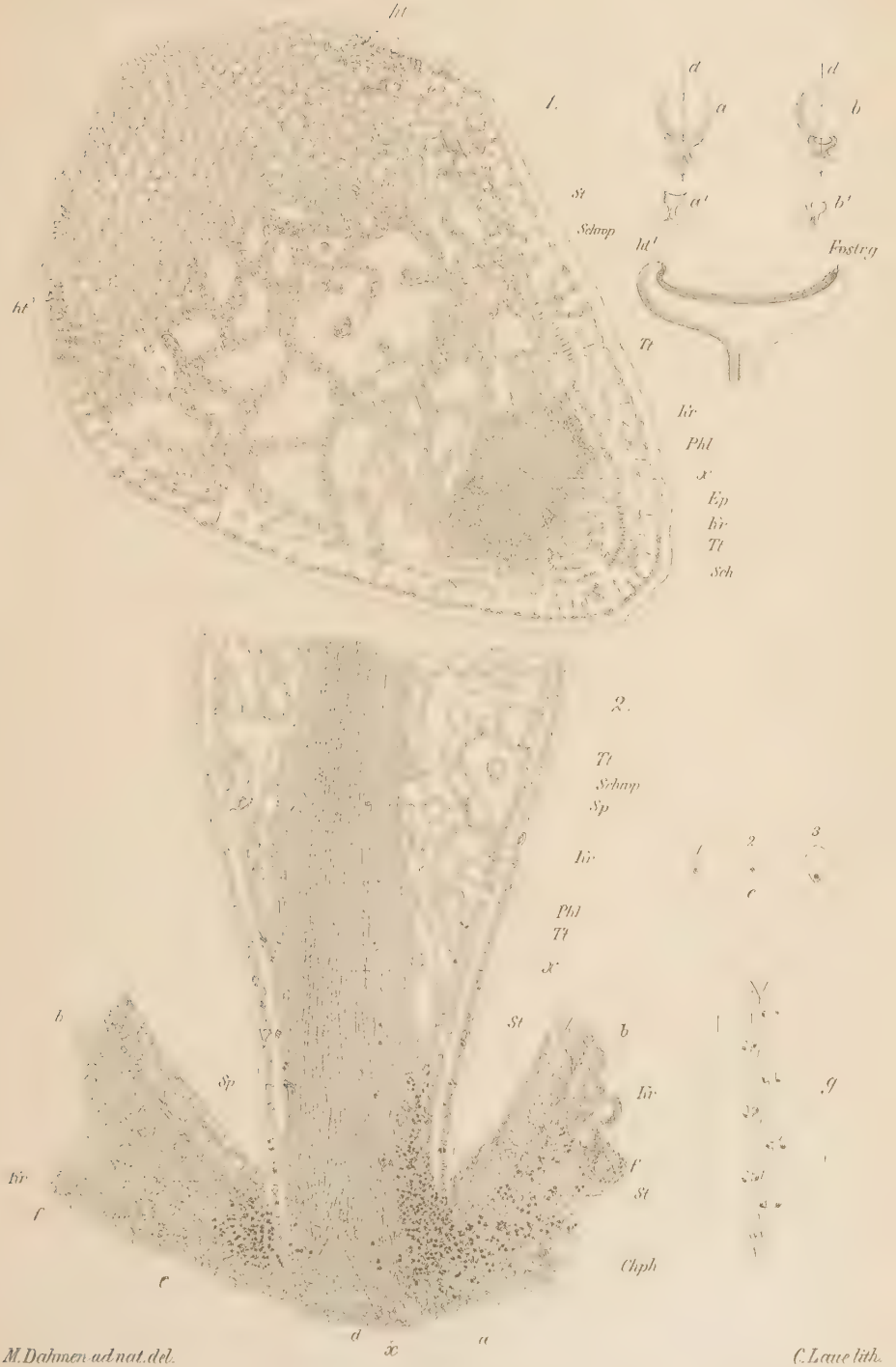
Fig. 36—38. Drei frühere Stadien.

Fig. 39—41. Drei Stadien des Funiculus von Canna iridiflora.

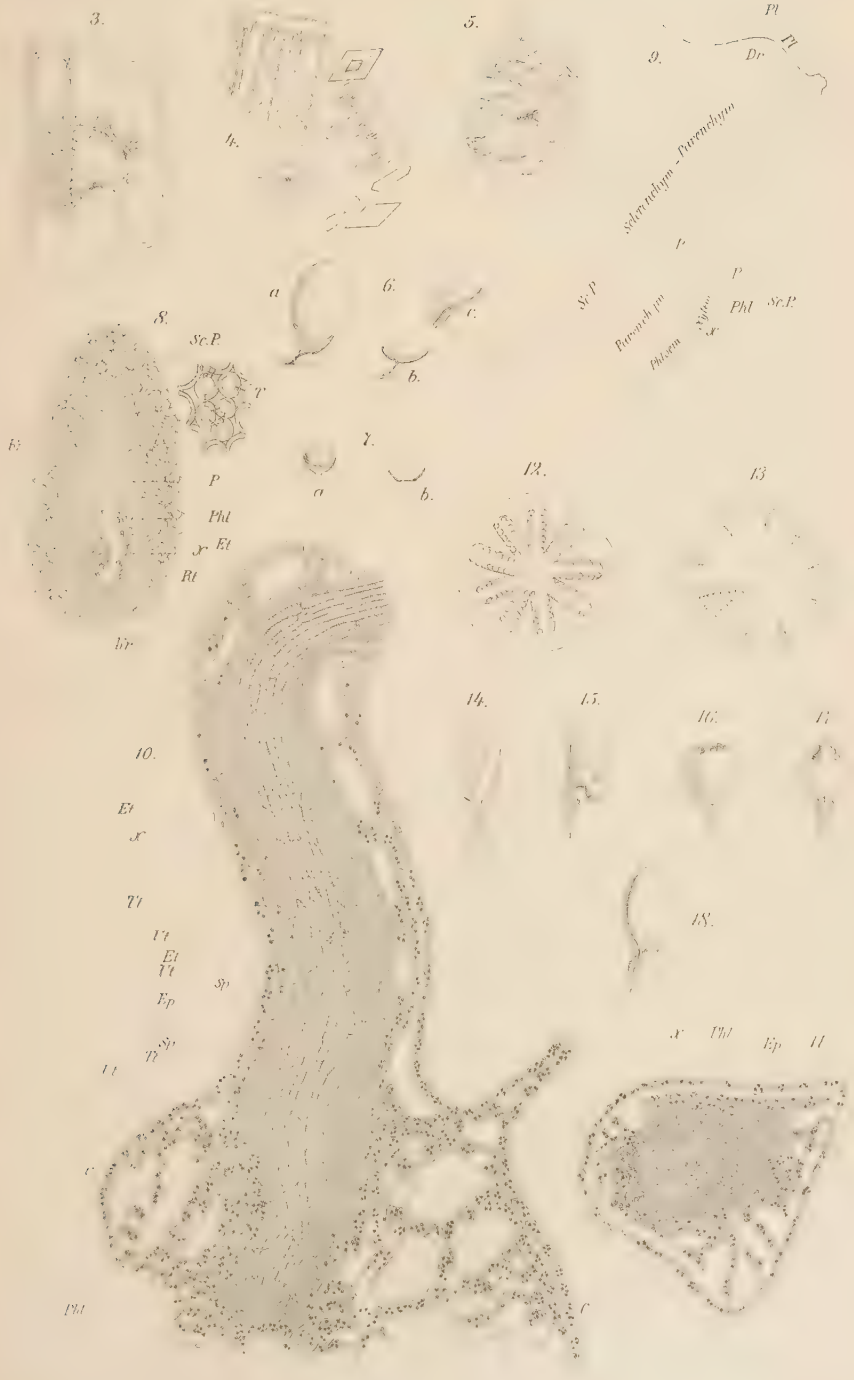
Fig. 42. Gewebe eines Funiculushaares von Canna iridiflora.

Fig. 43 u. 44. Schema der Vegetationskegel der Blüthe von Secale cereale.

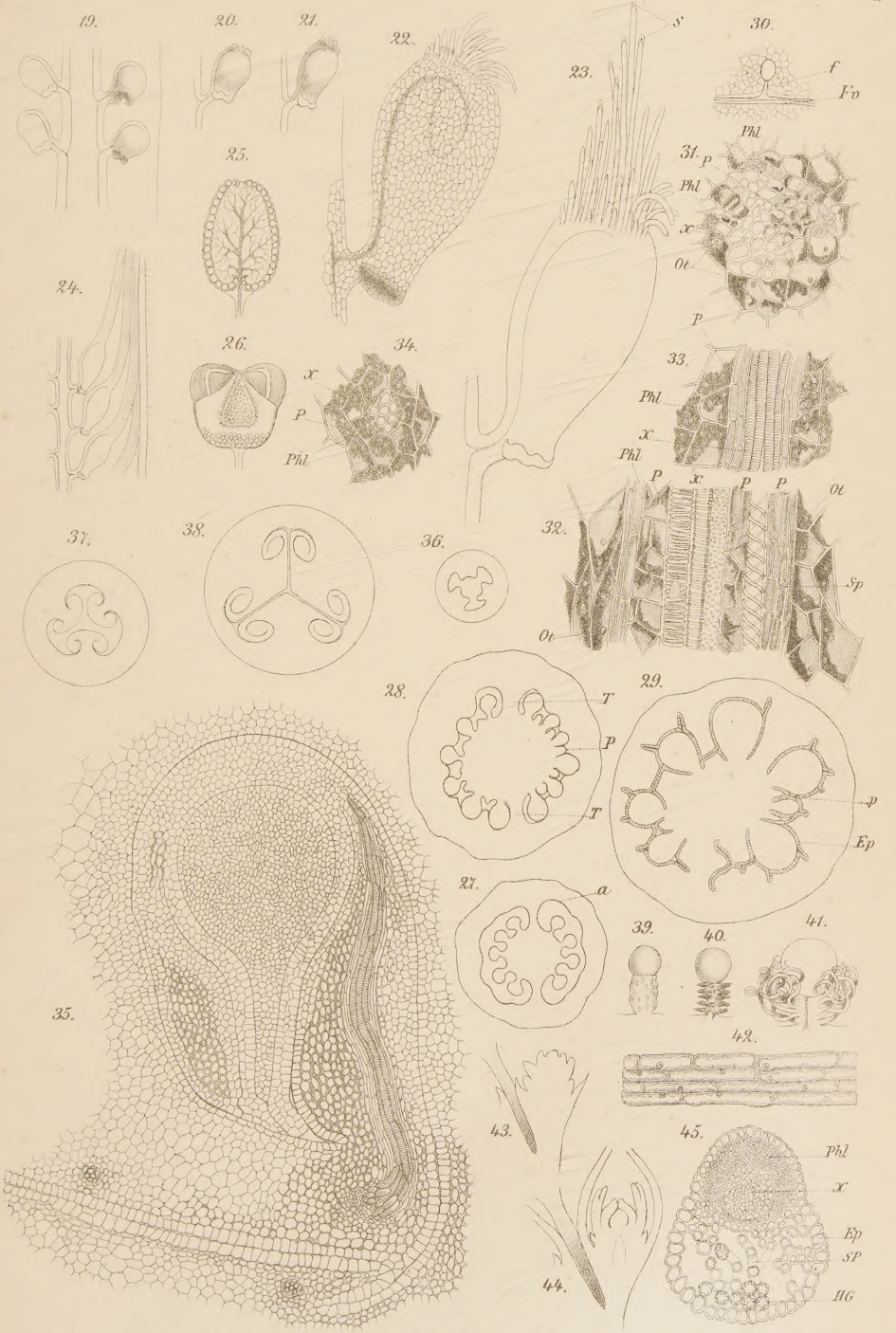
Fig. 45. Querschnitt des Funiculus von Heracleum dissectum.



M. Dahmen ad nat. del. C. Laue lith.



M. Dahmen ad nat. del. C. Laue lith.



M. Dalmon ad nat. del.

C. Laue lith.